

الانشطار

التطور التاريخي للانشطار النووي

حسين على

الانشطار

التطور التاريخي للانشطار النووي

رقم الإيداع: ٢٠٠٥/١٨٢٤٩ .

الترقيم الدولي: ISBN977-17-2667-6

حسين على

□ حسين على.

الانشطار:

التطور التاريخي للانشطار النووي

□ للاستعلام :

E-mail: husseinaly@link.net

□ رقم الإيداع : ٢٠٠٥/١٨٢٤٩

الترقيم الدولي: ISBN 977-17-2667-6

□ طباعة : عبد الله محمود

□ حقوق الطبع محفوظة للمؤلف. ويحظر كافة

أشكال النسخ أو إعادة الطبع بدون تصريح

من المؤلف ، كما يحظر الاقتباس بدون الإشارة

الى المصدر.

الفهرس

المقدمة

الفصل الأول : الذرة والانشطار النووي .

الفصل الثاني: التفاعلات الكيميائية:

- النظائر.
- الفصائل الإشعاعية للعناصر المشعة.

الفصل الثالث: مكونات الذرة:

- النظائر المشعة.
- الطاقة الناتجة عن الانشطار.
- الكتل الناتجة عن الانشطار.
- النيوترونات الناتجة عن الانشطار.
- النيوكليدات القابلة للانشطار.
- الانشطار التلقائي .

الفصل الرابع: نظرية الانشطار النووي ونواتجه:

- ميكانيكية الانشطار النووي.
- الطاقة الحرجة لإحداث الانشطار النووي.
- الانشطار وطاقة النيوترون.
- نواتج الانشطار النووي.

- خصائص نواتج الانشطار النووي.

- سلاسل الانحلال الإشعاعي.

الفصل الخامس: الاستفادة من الطاقة النووية:

- الطاقة الناتجة عن الانشطار النووي.

- الانشطار النووي كمصدر للطاقة.

الفصل السادس: التفاعل النووي المتسلسل والقنبلة النووية.

- الحرارة الهائلة المنبعثة من القنبلة النووية.

- المواد المستخدمة في القنبلة النووية.

- نظام خاص بالتفاعل النووي المتسلسل.

- عامل التوالد النووي.

- حساب عامل التوالد (التكاثر) النووي.

- الأجهزة ذات الأنظمة المتجانسة والغير متجانسة.

الملاحق.

المراجع.

المقدمة

لقد لعبت الطاقة النووية دوراً كبيراً على المسرح العالمي خاصة في السنوات القليلة الماضية حيث أصبحت كل يوم بل وكل ساعة في جميع وسائل الإعلام سواء في العالم الغربي أو الشرقي.

فمنذ بداية السبعينات وقد أظهر كل من الكتلتين الشرقية والغربية الاهتمام المتزايد بالطاقة النووية إلا أن حرب العرب وإسرائيل في أكتوبر ١٩٧٣م وإنقطاع تصدير البترول للدول التي ساندت إسرائيل ضد العرب جعلت من الطاقة النووية البديل الوحيد للتخلص من أزمات وتحذيرات قضية الطاقة التي تعتمد على البترول والدول المصدرة له. وعليه فقد بدأ الاهتمام الشديد بتطوير الطاقة النووية سواء كان ذلك في الإستخدامات السلمية أو الحربية. ولكن الأمر لم يتوقف فقط على الغرب والشرق بل تعداهما إلى دول العالم الثالث حيث بدأ يشكل ضغطاً على سياسات حكوماتهم وذلك من أجل إستخدام الطاقة النووية وخاصة في المجالات السلمية وربما أيضاً العسكرية. ولكي نكون أكثر وضوحاً نود أن نشير إلى أنه في بداية السبعينات وقبل ذلك كانت هناك العديد من حكومات الدول الغربية تعقد الآمال على خططها القصيرة والمتوسطة المدى في برامجها النووية من أجل الحصول على الكهرباء وإستخدامه كوقود وذلك بغرض

عدم الإعتماد على البترول كمصدر رئيسى للطاقة، وبالفعل نجحت بعض هذه الدول. فإنگلترا على سبيل المثال كانت تعتبر من أوائل هذه الدول حيث أن إنتاج الكهرباء من الطاقة النووية وصل فى عام ١٩٧٣ إلى ما يقرب من ٢٤٠×١٠^6 ميغاوات من إجمالى مشاريعها النووية. أما الولايات المتحدة الأمريكية فقد كانت الثانية فى القائمة حيث وصل إنتاجها من الكهرباء إلى حوالى ٢٠٩×١٠^6 ميغاوات.

وتعتقد دول الغرب الآمال على أن الطاقة النووية ستقوم بسد احتياجاتها من الطاقة فى المدى الطويل. فهل ستستطيع الدول الغربية بالفعل تحقيق هذه الآمال. وهنا نود أن نذكر أن هيئة الطاقة النووية للولايات المتحدة الأمريكية ووكالة الطاقة النووية الأوروبية والوكالة العالمية للطاقة النووية قد قاموا بتقدير كمية اليورانيوم المستخدمة كوقود لإنتاج الطاقة النووية للفترة من ١٩٧٠-١٩٨٠م بحوالى ٤٠٠ ألف طن من أكسيد اليورانيوم. كما أنه فى نفس الفترة قدر احتياطى اليورانيوم الذى تتكلف عملية إستخلاص الرطل الواحد ١٠ دولار فى عام ١٩٧٠م بحوالى ٨٠٠ ألف طن. إلا أن مخزون اليورانيوم لا يقف عند هذا الحد، فيوجد أيضاً يورانيوم وبكميات ضخمة ولكن عمليات إستخلاصه تتكلف الكثير نتيجة لإتحاده مع بعض العناصر الأخرى. وعلى الرغم من ذلك فإن التنبؤات تشير إلى أن المخزون من اليورانيوم الذى يستخدم فى عمليات الإنشطار النووى بغرض الحصول على الكهرباء المستخدم كوقود ليست كمياته

ضخمة بل أكثر قليلاً من البترول حيث يتوقع إستنفاد اليورانيوم فى خلال ٢٥ إلى ٣٠ عاماً. ويرجع السبب فى ذلك إلى أن اليورانيوم ٢٣٥ (وهو النشط والقابل للإنشطار) يشكل حوالى ٠,٧٪ من مخزون اليورانيوم فى باطن الأرض - أما الباقي فهو نظائر غير قابلة للإنشطار ومن أهمها هو اليورانيوم ٢٣٨ والذي يعد أفضل من غيره من النظائر الخاملة حيث أنه يساهم بنسبة محدودة فى عمليات الإنشطار وعلى الرغم من ذلك فإن تكاليف الحصول عليه وإستخلاصه مرتفعة جداً بالمقارنة باليورانيوم ٢٣٥. إلا أن علماء الطاقة النووية يروا أنه لكى يتحقق الإستفادة القصوى من اليورانيوم ٢٣٨ لابد من تحويله إلى مادة قابلة للإنشطار وهى البلوتونيوم ٢٣٩ ويتم ذلك داخل مفاعل ذو تصميم خاص ومناسب حيث أن عمله هو إنشطار النواة وتضاعفها بمعنى أن كل نواة تتشطر إلى أكثر من نواة وهكذا وذلك من ذرة اليورانيوم ٢٣٨ الغير نشطة إنشطاريًا - وهذه النوعية من المفاعلات يطلق عليها المفاعلات الولودة.

وبالطبع سيكون من نتيجة إستخدام المفاعلات العادية التى تستخدم اليورانيوم ٢٣٥ والمفاعلات الولودة التى تنتج البلوتونيوم الناتج من اليورانيوم ٢٣٨ القدرة على زيادة كميات اليورانيوم المستخدمة فى عمليات الإنشطار من أجل الحصول على أكبر قدر ممكن من الطاقة النووية وذلك بدلاً من الإعتماد على نسبة ٠,٧٪ الناتجة من اليورانيوم ٢٣٥ النادر الوجود - وهذا يرجع إلى أن اليورانيوم ٢٣٨ أصبح يعمل بكفاءة نتيجة

إستخدامه فى المفاعلات الولودة التى توصلت إلى أن الطاقة النووية الناتجة لكل رطل منه تضاعفت حتى وصلت إلى ١٤٠ مرة عما كان أولاً.

أى أن إستغلال المخزون من اليورانيوم سيؤدى إلى زيادة ضخمة فى الحصول على الطاقة النووية المستخدمة فى الأغراض السلمية وهى الكهرباء. نخرج من هذا بأن المفاعلات الولودة تعمل على مضاعفة المخزون من اليورانيوم المستخدم كوقود لمرات عديدة عما كان مقدراً له قبلاً ومن ثم فإنه يمكن الإستغناء على الوقود العضوى الآخر وهو البترول والفحم والغاز الطبيعى. وعلى الرغم من الأهمية القصوى لإستخدامات الطاقة النووية وزيادة نسبة المؤيدين لها فى الدول المتقدمة إلا أنه يوجد معارضين لها أيضاً، ومن أهم الإنتقادات التى توجه إليها هما النقطتين التاليتين :

٢- التلوث الإشعاعى

١- الأمان النووى

فبخصوص الأمان النووى : نستطيع أن نقول أن الأمان الكامل للمفاعلات النووية عمل صعب للغاية حيث لم تستطع أية دولة حتى الآن التوصل إليه - ولكن فى نفس الوقت لم يتم التوصل إلى الأخطار الكاملة التى يمكن التعرض إليها - ومن ثم يمكننا القول أن صناعة الطاقة النووية لا زالت حتى الآن تحظى بسجل نظيف خال من التدمير والقتل.

أما التلوث الإشعاعى : فإن بعض (وليس كل) المواد المشعة الناتجة من المفاعلات النووية تستمر لفترة طويلة جداً ومن ثم فهى تخزن لمدة قد

تصل أحياناً إلى ٥٠٠ عاماً وعليه فإننا نجد أن طول فترة التخزين هذه تؤدي إلى إنتقادات كثيرة ولكن لازالت الأبحاث جارية من أجل الحصول على حل نهائى لهذه المشكلة.

وعلى الرغم من أن الطاقة النووية الناتجة عن الإنشطار لم تعمم بعد على مستوى العالم كبديل للطاقة العضوية إلا أن علماء وخبراء الطاقة النووية يعملون بجهد كبير من أجل تطويرها. فالأمل الذى يراود حكومات وعلماء الغرب اليوم هو التطور السريع من أجل تأمين المستقبل من تحذيرات ونقص الطاقة حتى لا يتعرضون مرة ثانية للأحداث التى أعقبت حرب أكتوبر ١٩٧٣م بين العرب وإسرائيل والتى شكلت ضغوط هائلة على الإقتصاد العالمى.

وعليه نستطيع أن نقول أنه بالفعل قد توصل علماء الغرب إلى تحقيق جزء كبير من هذا الأمل والذى يتمثل فى الحصول على الطاقة نتيجة الإتحاد أو الإندماج لجزيئات متناهية الصغر من الذرة - أى أن عملية الإندماج النووى هى عبارة عن تجميع لنويات متناهية الصغر يصحبها خروج طاقة، وهذه الطاقة هى التى تستخدم فى الأغراض المطلوبة. ويرجع تاريخ هذا النوع من الطاقة إلى القنبلة الهيدروجينية حيث ثبت علمياً وعملياً أنه من الممكن الحصول على طاقة حرارية عالية نتيجة الإندماج النووى.

وهنا نود أن نوضح الأتى : أنه فى حالة التفجير النووى التقليدى فإن ما يحدث هو إنبعاث ضوء نووى ومعه قوة كافية متحدة معه - هذا بالإضافة إلى خروج كمية هائلة من الطاقة. ولكن باستثناء التفجيرات النووية، يرى العلماء أن أفضل الطرق لإجبار جميع النويات المتناهية الصغر هو المتمثل فى تسخين هذه النويات داخل مستودع من أجل التحكم فيها والحصول على الطاقة المطلوبة - ومن هنا جاء الاسم المطلق عليها وهو الطاقة النووية الحرارية - إلا أنه لسوء الحظ لم يتم ذلك حتى الآن. ويرجع السبب فى ذلك إلى عدم القدرة على إنتاج الحرارة العالية جداً والمطلوبة لمدة طويلة فى صورة غاز ذو كثافة معينة تكفى لجعل مشروع الطاقة النووية الحرارية حقيقة لاخيال.

فى الواقع أن مشروع الطاقة النووية الحرارية المستخدمة فى المجالات السلمية من الممكن تحقيقه حيث أن العمل فيه جارياً الآن - وتشير الدلائل الأخيرة إلى أن معظم المشاكل المتعلقة به أمكن التغلب على معظمها - ومن ثم فقد أعلن أن مشروع عمليات الاندماج النووى قد تم البدء فيه قبل اواخر عام ١٩٩٠، كما أنه يتوقع أن بداية عام ٢٠١٠ م ستشهد أول مشروع لاستخراج الطاقة الناتجة عن الاندماج النووى ويشير العلماء فى هذا الصدد إلى أن أنسب العناصر المستخدمة فى عمليات التفاعل الخاصة بالاندماج النووى هى الديوتيريم والتريتيوم وكلاهما من النظائر الثقيلة لذرة الهيدروجين. وحيث أن الحصول على التريتيوم الطبيعى محدود

لندرتة فى الطبيعة لذا فقد روعى أنه لابد من تصنيعة من عنصر الليثيوم ٦- ويعتقد أن مخزون الليثيوم ٦- فى العالم يعادل وربما أكثر من مخزون الوقود المستخدم حالياً والمتمثل فى البترول والفحم والغاز الطبيعى مجتمعين. هذا ويضيف العلماء والخبراء القائمون على هذا المشروع أنه فى حالة إستخدام عنصر الديوتيريم بالإضافة إلى الليثيوم ٦- فإن مشكلة الطاقة العالمية سوف تنتهى إلى حيث لا رجعة إليها، وذلك لأن عنصر الديوتيريم يوجد بكميات هائلة فى البحار والمحيطات - ومن ثم ستكون النتيجة النهائية كما يصورها الخبراء والعلماء هى الحصول على الطاقة لملايين السنين وذلك فى حالة عدم حدوث أية تطورات جديدة فى عالم الطاقة وبالطبع هذا أمر مستبعد نظراً للإختراعات المتوالية يوماً بعد يوم. ولكن ما هو موقف مصر من هذا كله؟ هل ستظل واقفة هكذا بعيدة عن تكنولوجيا الأمس واليوم والمستقبل؟

لاشك أن التطورات المذهلة فى الشرق والغرب بل وفى الشرق الأوسط نفسه من خلال إسرائيل المتطورة علمياً وعملياً فى هذا القطاع - وأيضاً فى أفريقيا والمتمثلة فى جنوب أفريقيا التى تلعب دوراً رائداً فى تكنولوجيا الطاقة النووية والتى هى أقرب ما يكون إلى الغرب - كل هذا يشكل خطراً على مصر المستقبل والعقول المصرية بالتبعية حيث أنها وجدت لها المكان فى الدول الغربية تاركة مصر والجمود المصرى الذى لم يشجع على المضى قدماً فى التكنولوجيا الحديثة.

وعليه فنعتقد أنه لا بد من البدء وبأسرع ما يمكن فى إستخدام الطاقة النووية خاصة وأن مصر وقعت على إتفاقية عدم إنتشار الأسلحة النووية فى فبراير عام ١٩٨١. فالسياسة المصرية واضحة فى هذا المجال حيث أنها تركز أساساً على إستخدام الطاقة النووية فى إنتاج الكهرباء للإستخدامات المحلية وإزالة ملوحة المياه والنقل البحرى - هذا بالإضافة إلى شق القنوات والموانئ وأيضاً فى الأساليب الفنية الحديثة للتعبدين والكشف عن البترول والغازات الطبيعية كما أنها تفكر أيضاً فى إستخدامها فى المجالات الطبية مثل البطاريات الذرية الصغيرة من أجل عمل قوى كهربية للقلوب والأعضاء الأخرى الصناعية - وعلاوة على ما تقدم إستخدام النظائر المشعة التى تمكن من تحديد العمر الجيولوجى وأيضاً فى الآثار القديمة - ثم تنشيط العمليات الصناعية والكىماوية.

الفصل الأول

الذرة والإنشطار النووي

لقد بدا واضحاً في السنوات القليلة الماضية إن إنتاج الكهرباء عن طريق الإنشطار النووي المتحكم فيه أصبح عملاً يرضى عنه الغالبية إن لم يكن الجميع، بل ثبت أيضاً أن إنتاج الطاقة النووية يعد بمثابة الجزء الحيوي والهام في إعداد جميع الخطط القومية في العديد من دول العالم. ويرى الكثير من خبراء الطاقة أن الطاقة النووية تعتبر أول تطور ضخم ومستمر في تاريخ البشرية من أجل القضاء على مشاكل العجز في الوقود.

وهنا نود أن نشير إلى أن أول محطة نووية تجارية خاصة بإنتاج الطاقة في العالم قد تم إفتتاحها في إنجلترا وذلك في عام ١٩٥٦م في منطقة كالدرهول، ولكن التجارب في هذا المجال بدأت قبل ذلك بكثير حيث يرى البعض أن تاريخها يعود إلى ما قبل القرن التاسع عشر.

في الواقع إن رحلة الطاقة النووية تعود إلى عام ١٨٩٥م وذلك عندما إكتشف رونجن أشعة إكس* وهي عبارة عن أشعة غير مرئية

* يمكن الحصول على أشعة إكس وذلك عند انبعاث الالكترونات من فتيلة من التنجستون وباستخدام طاقة حركية كبيرة فإن هذه الالكترونات تتحرك بسرعة هائلة لتصطدم في النهاية بالتنجستون ومن ثم فينتج عن هذا التصادم أشعة إكس - ويرجع السبب في ذلك إلى أحد الاحتمالين الآتيين :

١- أن يتخذ الالكترون بعد سقوطه على التنجستون طريقة إلى داخل إحدى ذراته ليصطدم في النهاية بأحد الالكترونات المتحركة في أحد مستويات الطاقة القريبة من نواة ذرة

أطوالها الموجية قصيرة جداً، ولكن نظراً لعدم معرفة رونتجن لطبيعة هذه الأشعة أطلق عليها اسم أشعة إكس. وبعد عام من إكتشاف رونتجن لأشعة إكس وبالتحديد في عام ١٨٩٦م حالف التوفيق بيكوريل في إكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي من أملاح اليورانيوم حيث أنه لاحظ أن هذه الأملاح ينبعث منها إشعاعات غير مرئية تؤثر في الألواح الحساسة المغطاة بالورق الأسود كما أنها تؤثر أيضاً في الكشاف الكهربى.

في الحقيقة إن إكتشاف بيكوريل هذا كشف النقاب عن الذرة ومن ثم فلم تعد الذرة عديمة الحياة ولا جامدة. ومن منطلق بيكوريل هذا إستطاع بوينكير التوصل إلى أن هناك علاقة وثيقة بين كل من أشعة إكس والنشاط الإشعاعي للعناصر.

التجسّتون حيث يودى هذا التصادم إلى انفصال هذا الإلكترون عن مستويات الطاقة الخاصة به تاركاً فراغاً ومن ثم تتأين ذرة التجسّتون وعليه يقفز الكترون من أحد مستويات الطاقة الخارجية ليملاّ هذا الفراغ في مستوى الطاقة الداخلى - وبصحب هذا نقص في طاقة هذا الإلكترون حيث يظهر على شكل إشعاع وهو ما يطلق عليه أشعة إكس وهذا الإشعاع الناتج دائماً ما يكون مميزاً لعنصر التجسّتون ولهذا يسمى بأشعة إكس المميزة.

٢- أما الإحتمال الثانى فهو يتمثل فى الآتى : بعد سقوط الإلكترون على التجسّتون وأثناء إختراقه لذرة التجسّتون فإنه يتأثر بمجالها الكهربى وينتج عن ذلك أن تتناقص سرعته وتقل بالتالى طاقة حركته ومن ثم فإن النقص فى طاقة الحركة يظهر على شكل إشعاع "هو أشعة إكس"، ولكن يحدث أحياناً أن يفقد الإلكترون كل طاقة حركته دفعة واحدة وعندئذ تكون طاقة الإشعاع الناتج عنه مساوية تماماً للطاقة التى إكتسبها عند عملية القذف.

وبعد عامين من إكتشاف بيكورييل (١٨٩٨م) إستطاعت مدام كورى أن تفصل عناصر البولونيوم والريديوم من المواد الخام والتي منها تم إستخلاص أملاح اليورانيوم - وبناء على ذلك إكتشفت مدام كورى أن النشاط الإشعاعى الذى نتج عن المواد الخام كان أكثر من الذى نتج عن الأملاح - فعلى سبيل المثال ثبت لها أن عنصر البولونيوم له قوة إشعاع تعادل ٤٠٠ مرة تلك التى يحظى بها اليورانيوم، هذا بالإضافة إلى أن النشاط الإشعاعى لعنصر الريديوم يعادل نشاط اليورانيوم مليون مرة ... وعلى هذا الأساس وضعت مدام كورى نظريتها الخاصة بالإشعاع الكيميائى. وهنا نود أن نشير إلى أن وحدة القياس التى إستخدمتها مدام كورى فى قياس قوة النشاط الإشعاعى أطلق عليها لفظ "كورى".

[والكورى هو عبارة عن وحدة قياس أساسية تستخدم للتعبير عن شدة النشاط الإشعاعى لأى عنصر - والكورى يساوى ٣٧ بليون إنحلال إشعاعى لكل ثانية وهو تقريباً معدل إنحلال جرام واحد من الراديوم... كما أن الكورى هو عبارة عن كمية الصورة الذرية للعنصر التى يكون نشاطها الإشعاعى كورى واحد].

وبالإضافة إلى ما سبق فقد تم التوصل إلى نقطة هامة والتى أضافت الكثير إلى عالم الذرة وهى ما قد إكتشفه العلماء من أن المواد

المشعة* تعمل على تغيير أو تحويل العناصر الأصلية إلى عناصر أخرى مختلفة تماماً عن العناصر الأصلية وذلك مع مرور الوقت. وبناء على ذلك بدأت الدراسات والأبحاث المكثفة بقيادة كل من رذفورد، وأيضاً سودى فى عام ١٩٠٣م ثم بعد ذلك فون شيدلر فى عام ١٩٠٥م إلى أن تم التوصل إلى وضع نظريتهم الخاصة بالإنحلال الإشعاعى - وتقول هذه النظرية :
 أن الذرات النشطة إشعاعياً تتحل تلقائياً، ومن خلال هذا الإنحلال تصدر الذرة دقائق صغيرة جداً تغير من صفاتها الطبيعية. وعند فحص الأشعة المنبعثة من الذرة أثناء فترة الإنحلال وجد أنها تنقسم إلى ثلاثة أنواع هى :

أ- دقائق ألفا ب- دقائق بيتا ج- إشعاعات جاما

بالنسبة لدقائق ألفا فإن أهم ما تتميز به هو قدرتها الشديدة على التأين حيث يتم إمتصاصها فى سنتيمترات قليلة من الهواء - كما أنها تتحرف بتأثير المجال المغناطيسى أو الكهربى مما يدل على أنها مشحونة كهربياً بشحنة موجبة، هذا بالإضافة إلى أن كتلتها تبلغ ٤ أمثال كتلة ذرة الهيدروجين، كما تعتبر كل دقيقة منها بمثابة نواة ذرة هيليوم حيث تحتوى على ٢ بروتون و ٢ نيوترون - كما أن سرعتها تصل إلى ٠,١ من سرعة

* إن أهم خصائص الإشعاعات هى التأثير فى الألواح الحساسة وإحداث وميض عند سقوطها على بعض المواد مثل سيانيد الباريوم والبلاطينى وكبريتيد الخارصين، كما أنها تؤين الهواء ومن ثم فإنها تؤثر فى الكشاف الكهربى المشحون.

الضوء - وأن قدرتها على النفاذ محدودة حيث يمكن أن تمتصها صفيحة رقيقة من المعدن وتمنعها من النفاذ.

أما بخصوص دقائق بيتا : فهي أقوى بكثير على النفاذ خلال الأجسام الصلبة من دقائق ألفا حيث يمكنها أن تنفذ من خلال عدة مليمترات في الألومنيوم - ولكنها تنحرف بتأثير المجال المغناطيسى أو الكهربى فى عكس إتجاه إنحراف دقائق ألفا مما يدل على أنها جسيمات مشحونة كهربياً وسالبة الشحنة - وبالإضافة إلى أن قدرتها على تأين الغازات أقل من قدرة دقائق ألفا فإن سرعتها أكبر بكثير من دقائق ألفا وذلك لأنها تقرب من سرعة الضوء.

ومن خلال التجارب التى أجراها تومسون فى عام ١٨٩٩م استطاع أن يكتشف أن بها إلكترونات حيث أن كل دقيقة منها تعادل الكترون* وتساويه فى الكتلة والشحنة. إلا أن إشعاعات جاما تختلف عن سابقتها - وتشبه أشعة جاما أساساً أشعة إكس ولكنها عادة أكثر منها نشاطاً وقوة حيث أنها من أصل نووى. فأشعة جاما لديها القدرة على إختراق عدة سنتيمترات من الرصاص - كما أنها تتأثر بالمجال المغناطيسى أو الكهربى

* الالكترون هو جسيم أولى يحمل وحدة الشحنات الكهربائية السالبة وتساوى كتلته نحو جزء من ١٨٣٧ من كتلة البروتون - وتحيط الالكترونات بالنواة الموجبة الشحنة - كما أن الالكترونات تحدد الخواص الكيماوية للذرة - كما توجد أيضاً الالكترونات موجبة تسمى بوزيترونات.

مما يدل على أنها مشحونة - أما بالنسبة لسرعتها فهي أكبر قليلاً من دقائق بيتا حيث أنها تساوى سرعة الضوء.

وهنا نود أن نشير إلى الآتى : أن النشاط الإشعاعى الذى يصاحبه انبعاث دقائق ألفا يطلق عليه التحلل بإشعاعات ألفا أو التحلل النووى بدقائق ألفا - أما فى حالة انبعاث دقائق بيتا فإنه يطلق عليها التحلل بإشعاعات بيتا - وعليه فيجب أن نضع فى الاعتبار هنا أنه أثناء تحول أنوية العناصر إلى أنوية عناصر أخرى بواسطة انبعاث أشعة ألفا أو بيتا أو جاما فإن التحول الإشعاعى لا يحدث معه أى فقد لأعداد الكتلة أو العدد الذرى أى أن مجموع أعداد الكتلة والأعداد الذرية لكل من المادة الجديدة والأشعة المنبعثة يساوى تماماً فى مجموعه أعداد الكتلة والعدد الذرى للنواة المشعة ويطلق هنا على النواة المشعة الأصلية بالنواة الأم بينما تسمى النواة الجديدة الناتجة بإسم الابنه [ويطلق على الابنة لفظ النيوكليد أى الصورة الذرية للعنصر وهى تتشأ كما أشرنا من قبل من الإنحلال الإشعاعى * لنيوكليد آخر يسمى الأم وأحياناً يطلق عليه الأب].

* لقد تم التوصل عن طريق ظاهرة النشاط الإشعاعى إلى وضع قاعدة الإزاحة لذرات العناصر والتي عن طريقها أمكن تحديد عدد الكتلة وشحنة ذرة العنصر الجديد الناتجة عن انبعاث دقائق ألفا وبيتا حيث يتمثل ذلك فى الآتى :

نظراً لأن دقيقة ألفا تصل عدد كتلتها إلى ٤ وذلك لإحتوائها على ٢ بروتون، ٢ نيوترون لذا فإن الذرة التى ستتكون نتيجة لانبعاث جسيمات ألفا ستكون ذات شحنة كهربائية تقل عن شحنة المادة الأصلية المشعة بعدد ٢، كما أن كتلتها ستقل بعدد ٤، ومن ثم فإن العنصر الجديد سيشغل مكاناً فى الجدول الدورى مزمحاً بوضعين إلى اليمين عن العنصر الأصلى.

ولكن حتى عام ١٨٩٩م لم يعلن عن وجود نموذج ثابت لبناء الذرة، إلا أنه كانت هناك بعض الإقتراحات حول هذا الموضوع مثل التي أعلنها تومسون والتي إعتد فيها على الإقتراحات السائدة في ذلك الوقت وهي : أن الذرات تتغير في خواصها الكيميائية وذلك نتيجة لخروج جسيمات سالبة أو موجبة.

وبناء على ذلك وضع تومسون تصوره لنموذج الذرة والذي قال فيه أن الذرة عبارة عن جسم كروي ذو كهربية موجبة ويوجد بها الكترونات سالبة موزعة داخل جسم كروي بحيث يجعلها متعادلة، ومن ثم فإن الشحنة الكهربائية تصبح مساوية صفراً. ولقد أطلق على نموذج تومسون هنا لقب " نموذج بلم بودينج للذرة ".

ولقد ظل معمولاً بنموذج تومسون لفترة طويلة حتى قام رذفورد بإلغائه في عام ١٩١١م، وذلك عندما أجرى إحدى تجاربه الشهيرة والتي تمثلت في تصويب دقائق ألفا على الذرة ومتابعة الإتجاهات التي تتأثرت

أما في حالة إنبعاث دقيقة بيتا السالبة فإن شحنة ذرة العنصر الجديدة ستزيد بوحدة شحنة عن المادة الأصلية بينما سيظل عدد الكتلة كما هو - أي أن إنبعاث أشعة بيتا يحدث نتيجة لتحول أحد نيوترونات النواة الأصلية إلى بروتون وإلكترون - وعليه فإننا نجد أن عدد النيوترونات في النواة الجديدة يقل بواحد عنها في النواة الأصلية ويزيد عدد بروتوناتها بواحد بينما يبقى عدد الكتلة ثابتاً. أما في حالة إنبعاث أشعة جاما فإنه لا يحدث أي تغير في عدد الكتلة أو العدد الذري للمادة المشعة حيث أن أشعة جاما عبارة عن فوتونات ذات طاقة معينة لذلك فهي تؤدي إلى إستقرار النواة الأصلية حيث تحمل ما زاد بها من طاقة عن طاقة إستقرارها.

فيها حطام الذرة. ولقد أدت بالفعل النتائج التي حصل عليها رذفورد إلى وضع الأساس لنموذج الذرة المعمول به حالياً - ولكي يعلل رذفورد ظاهرة تتأثر جسيمات أو دقائق ألفا، فقد افترض وجود مجال ذو كهربية شديدة بالقرب من مركز النواة - ولكي يتحقق من ذلك، اقترح تومسون أن الذرة تتكون من نواة صغيرة جداً عبارة عن جسيم يحمل جميع شحنة الذرة الموجبة - كما افترض أيضاً أنها محاطة بفراغ هائل يعلوها حيث توزع فيها الشحنات السالبة وهي الالكترونات - كما تصور تومسون أيضاً أن محيط هذا الفراغ عند مقارنته بالذرة فإنه يصل إلى حوالى ١٠٠ مليون من السنتيمتر الواحد.

وبعد عامين من وضع نموذج تومسون للذرة وبالتحديد فى عام ١٩١٣م قام جيجر* ومارسدين بنشر تفاصيل نتائج تجاربهم حول إنتشار

* لقد إستخدم جيجر فى تجاربه الكشف الغازى والذي أطلق عليه بعد ذلك كشف جيجر وهو يتكون من أنبوبة إسطوانية صغيرة من المعدن موضوعة داخل أنبوبة زجاجية دقيقة الجدران تحتوى على غاز الأرجون مع نسبة من الكحول تحت ضغط عدة سنتيمترات من الزئبق يمر فى وسطها سلك معدنى دقيق يبلغ قطره من ٠,٠٧٥ إلى ٠,٢٥ ملليمتر وهو معزول عن جدران الأنبوبة عزلاً جيداً - ويمثل هذا السلك القطب الموجب للكشاف بينما تقوم جدران الأنبوبة مقام القطب السالب، ويتسبب المجال الكهربى الناشئ بين القطبين أى بين السلك الأوسط وجدران الكشف فى حركة الأيونات والالكترونات الناتجة من تأين الغاز داخل الكشف نتيجة لمرور الإشعاعات المؤينة فيه فتهاجر الأيونات الموجبة نحو القطب السالب والمتمثل فى جدران الأنبوبة، بينما تهاجر الالكترونات نحو القطب الموجب وهو السلك الأوسط مما يسبب تضاعف الأيونات من عمليات التصادم المتوالية ويتولد عن ذلك تيار كهربى يمر بالدائرة الخارجية حيث يمكن قياسه بطريقة أو بأخرى.

دقائق ألفا والتي أوضحت أنها على إتفاق تام مع نظرية رذفورد - كما أكدت أيضاً أن النواة الموجبة للذرة صغيرة للغاية.

ولم يتوقف الأمر عند هذا الحد فلقد إستمرت التجارب التى إستخدمت فيها طاقات عالية لدقائق ألفا، ومن ثم فقد كانت النتائج جميعها تؤكد صحة نموذج رذفورد للذرة، بالإضافة إلى ذلك أوضحت غالبية هذه النتائج أن المنطقة الدائرية لنواة الذرة تصل إلى مليون من السنتيمتر [أى ١٢١٠ سم]. أما من ناحية رذفورد فقد كان أكثر نشاطاً فى هذا المجال حيث أنه إستمر فى تجاربه إلى أن توصل بعد ثمانية أعوام من وضع نظريته الشهيرة عن الذرة وبالتحديد ١٩١٩م إلى تحطيم نواة ذرة النيتروجين وذلك بقذفها بدقائق ألفا أيضاً. أما النتائج التى حصل عليها فقد تمثلت فى أن الدقائق التى تتأثرت من الذرة المحطمة كانت عبارة عن نويات الهيدروجين والتي أطلق عليها رذفورد كلمة بروتون* وكلمة بروتون هى فى الأصل كلمة إغريقية وتعنى "الأول".

ونظراً لأن البروتونات تظهر غالباً فى عمليات انحلال النواة، كما أن بعض النويات كانت معروفة فى ذلك الوقت بخروج الالكترونات منها - لذا فقد إقترح رذفورد نموذجاً آخر لذراته والذي تمثل فى الآتى :

* بروتون وهو عبارة عن جسيم أولى يحمل وحدة الشحنات الكهربائية الموجبة وتبلغ كتلته ١٨٣٧ مرة قدر كتلة الالكترون تقريباً، هذا بالإضافة إلى أنه عبارة عن نواة ذرة إيدروجين

أن نواة الذرة عبارة عن جسيم متناهي الصغر ويحمل شحنة موجبة نتيجة لإحتوائه على البروتونات كما أن كتلة الذرة تتركز أساساً في النواة وذلك بسبب إحتوائها على البروتونات - هذا بالإضافة إلى أن النواة يحاط بها عدد من الالكترونات السالبة يساوى عدد البروتونات الموجبة - ولذا فإن الذرة متعادلة متعادلة كهربياً، كما أن قوة جذب النواة للالكترونات يساوى قوة الطرد المركزي الناشئة عن دورانها. ولكن نموذج رذفورد للذرة لم يستمر طويلاً فسرعان ما تعرض للنقد وذلك نتيجة للخصائص التى تتمتع بها كل من الالكترونات والنويات - ويرجع السبب فى ذلك إلى نظرية مكسويل للمجال المغناطيسى والتى تقول :

إذا تحرك جسيم مشحون بشحنة كهربية فى مدار جسيم آخر مشحون بشحنة مضادة فإن الجسيمات المتحركة تفقد بعض طاقاتها نتيجة انبعاث إشعاعات مما يؤدى فى النهاية إلى صغر مدار الجسيم المتحرك تدريجياً وذلك تبعاً لنقص طاقته.

والإعتراض هنا على نموذج رذفورد يتمثل فى الآتى :

عند تطبيق نظرية ماكسويل على حركة الالكترون السالب حول النواة الموجبة فإن الالكترون يفقد طاقته تدريجياً أثناء حركته الدورانية حول النواة - ومن ثم فإن سرعته تقل وتكون النتيجة هنا أن يقترب

خفيفة وعلاوة على ذلك فإن البروتونات تدخل فى تكوين كل الأنوية، كما أن العدد الذرى هو عبارة عن عدد البروتونات الموجودة فى نواة أية ذرة.

الالكترونون من النواة وذلك فى مدار حلزونى إلى أن يلتصق بها فى النهاية، ومن ثم فإن الذرة سوف تفقد كيانها وتتلاشى بالتبعية شحنتها الكهربائية.

وعليه فإن نظرية مكسويل أدت فى النهاية إلى إلغاء نظرية رذفورد- إلا أن رذفورد إستمر فى تجاربه وبعد حوالى عام [١٩٢٠م] وضع رذفورد تصوراً جديداً للذرة وقد إفتراض فيه وجود النيوترونات* فى نواة الذرة. وبعد حوالى ١٣ عاماً من إفتراض رذفورد لوجود النيوترونات بنواة الذرة ساعد الحظ تشادويك على إكتشاف النيوترون وذلك فى عام ١٩٣٢م والذى هو متعادل كهربياً وكتلته أكبر قليلاً من البروتون. أما الحدث الهام فى مجال الطاقة النووية فهو إكتشاف النشاط الإشعاعى الصناعى فى عام ١٩٣٤م، أى بعد عامين من إكتشاف تشادويك للنيوترون، حيث إستطاعت مدام جوليوت كورى وزوجها جوليوت إكتشاف أن هناك العديد من العناصر الثابتة فى الطبيعة يمكن تحويلها إلى عناصر أخرى غير متشابهة مع الأصلية وذلك بعد قذف الأولى بدقائق ألفا.

ويتمثل النشاط الإشعاعى الصناعى فى أبسط صورة فى الآتى : عند قذف نوى ذرات بعض العناصر المستقرة بقذيفة نووية ذات طاقة مناسبة

* النيوترون عبارة عن جسيم أولى غير مشحون تزيد كتلته قليلاً عن كتلة البروتون ويوجد فى نواة كل ذرة أثقل من الأيدروجين - والنيوترون الحر غير مستقر ولذا فإنه ينحل تبعاً لفترة نصف الحياة التى تقدر بحوالى ١٢ دقيقة إلى الالكترون والبروتون والنيترينو - وعلاوة على ما سبق فإن النيوترونات تعمل على بقاء التفاعل الإنشطارى المتسلسل الذى يحدث فى المفاعلات النووية.

فإنها تؤدي إلى اضطراب في نواة ذرة هذا العنصر بحيث تصبح غير مستقرة ومن ثم فتخرج منها إشعاعات ويكون من نتيجة ذلك تحول نواة ذرة العنصر إلى نواة لنظير أحد العناصر المستقرة. ويوجد أنواع مختلفة تستخدم في إحداث حالة الاضطراب لنواة ذرة العنصر المستقر وهي :

جسيم ألفا، الديوترونات، البروتونات، النيوترونات

ولكن يفضل استخدام النيوترونات عن غيرها وذلك لأنها ذو كتلة مناسبة بالإضافة إلى أنها متعادلة كهربياً مما يؤدي إلى دخولها الذرة دون أي تجاذب مع الالكترونات أو إحداث تفاعل مع شحنة النواة. ولكن قد يتسائل البعض عن أوجه الاختلاف بين الانحلال الإشعاعي الطبيعي والصناعي، والإجابة على ذلك هي :

- إنه في حالة الانحلال الإشعاعي الطبيعي نجد أن نوى الذرات المشعة طبيعياً تبعث بجسيمات بيتا أو ألفا - أما الذرات المشعة صناعياً فإنها تبعث بجسيمات بيتا أو البوزيترونات* وأيضاً أشعة جاما.
- قد يؤدي الانبعاث الإشعاعي الواحد في العناصر ذات النشاط الإشعاعي الصناعي إلى نواة مستقرة في الغالب، بينما يتم عكس ذلك في الانحلال الإشعاعي الطبيعي.

بالإضافة إلى ما سبق نجد أن العناصر المشعة طبيعياً قد انحدرت من أصول ذات عمر طويل. وهنا نود أن نقول أن العنصر ذي النشاط

* البوزيترون هو عبارة عن جسيم له كتلة الالكترون ولكن يحمل شحنة موجبة واحدة.

الإشعاعى الصناعى يطلق عليه إسم العنصر المشع. أما التحول الكبير الذى أعقب إكتشاف النشاط الإشعاعى الصناعى فقد تم على يد فيرمى ومساعديه حيث إستطاع فيرمى أن يتحكم فى سرعة النيوترون وذلك بخفضه إلى السرعات الحرارية وهى التى كافية وقادرة على حدوث عملية الإنشطار النووى للعناصر. ولقد تم ذلك فى عام ١٩٣٤م عندما أعلن فيرمى وسيرجى الأمريكانيين أنه عند قذف ذرة اليورانيوم بالنيوترونات البطيئة* فإن النواة تتشطر ومن ثم يمكن متابعة ٤ أنواع نشطة من الدقائق [دقائق بيتا] وأحد هذه الأنواع الأربعة يعتقد أنه نتيجة لليورانيوم ٢٣٩ المشع والغير موجود فى الطبيعة والذى حدث نتيجة التفاعلات النووية لذرة اليورانيوم ٢٣٨ الموجودة فى الطبيعة. كما لوحظ أيضاً أنه فى حالة انحلال دقيقة بيتا مرة ثانية فإن اليورانيوم ٢٣٩ يتحول إلى عنصر جديد عدده الذرى ٩٣ ووزنه الذرى ٢٣٩ ثم تتكرر هذه العملية مرة ثانية بإنحلال دقيقة بيتا أخرى إلى أن يصل العدد الذرى إلى ٢٩٤. وبناء على هذه النتائج توصل فيرمى وسيرجى إلى أنه نتيجة لهذا النشاط المتعدد فإنه من الممكن الحصول على عناصر جديدة غير مستقرة وأعدادها الذرية تتزايد

* النيوترون البطيء هو عبارة عن نيوترون فى حالة توازن حرارى مع الوسط الذى يحيط به، وقد لوحظ أن النيوترونات البطيئة هى التى قلت سرعتها بفعل المعدل حتى تصل إلى ٢٢٠٠ متر لكل ثانية وذلك عند درجة حرارة الغرفة وذلك بالمقارنة بالسرعات الشديدة الارتفاع التى كانت عليها وقت بدء الإنشطار.

من ٩٢ حتى تصل إلى ٩٤ وربما أكثر من ذلك، وهذا ما أطلق عليه بعناصر عبر اليورانيوم* .

في الحقيقة أن الإكتشاف العظيم لـ فيرمي وسيرجي أدى إلى الإهتمام الشديد من قبل علماء الكيمياء والفيزياء النووية في أوربا والولايات المتحدة على السواء. ولقد كان الهدف الأساسي هو التعرف الكامل على العناصر الجديدة - ومن بين هؤلاء العلماء هان وميتر من برلين، وجوليوت - كوري من باريس وهم من مشاهير علماء الكيمياء الإشعاعية ذوي الخبرة العالية في هذا المجال - ولقد كانت الإجراءات العامة التي استعملت في أبحاثهم مقامة على أساس تقنية الحامل - حيث أن الغرض من استخدام هذا الحامل هو فصل الكميات الغير مرئية للعنصر الجديد والعنصر الثابت معاً التي خصائصه الكيميائية معروفة مسبقاً.

واستمرت التجارب على قدم وساق حتى أعلن في عام ١٩٣٨م أن هان وإستراسمان توصلا من خلال التجارب التي تمت على أساس إختيار عنصر الباريوم كحامل إلى ثلاثة أنواع مختلفة من الأنشطة "أضيفت إليها الرابعة بعد ذلك" نتيجة لتحطيم ذرة اليورانيوم بالنيوترونات حيث تم

* عناصر عبر اليورانيوم : عى عناصر أعلى من اليورانيوم في الجدول الدوري لترتيب العناصر حيث أن عددها الذري يزيد عن ٩٢ - وتتكون جميع عناصر عبر اليورانيوم صناعياً وهي مشعة. وحتى عام ١٩٧٠م تم التوصل إلى ١٣ عنصراً هم : [نبتنيوم، بلوتنيوم، أمريكيوم، كوريوم، بركليوم، كاليفورنيوم، اينشتينيوم، فرميوم، مندلفيوم، نوبليوم، لورنسيوم، كورثاتوفيوم ثم هانيوم].

ترسيبهم مع الباريوم. وفي تجربة أخرى مشابهة لنفس العنصر على الراديوم، تبين أن حدوث الأنشطة كانت بسبب نظائر * الراديوم الجديدة وذلك على الرغم من أن تكوين الراديوم [ذو العدد الذرى ٨٨] من اليورانيوم يتطلب فى نفس الوقت خروج دقيقتان ألفا - ولكن لم يحدث أية دلائل على ذلك - ولقد علل هان وإستراسمان ذلك بأنه بعد انحلال نظائر الراديوم فإن النواتج تم ترسيبها مع اللانثانوم الذى يعمل كحامل - ويتوقع حدوث نفس الشيء لنظائر عنصر الأكتينيوم ذو العدد الذرى ٨٩ وذلك نظراً لأن عنصر الأكتينيوم متشابه مع عنصر اللانثانوم من الناحية الكيميائية. وفى نفس الوقت مدام جوليت كورى - كورى وسافيتش كانا يقومان بفحوص مفصلة لمنتج محدد [وذلك عن طريق فترة نصف الحياة**] والى تقدر بـ ٣,٥ ساعة] ثم الحصول عليه نتيجة قذف ذرة

* النظائر هى كما أشرنا قبلاً عبارة عن صور مختلفة من ذرات العنصر الواحد لها نفس العدد الذرى ولكنها تختلف فى عدد الكتلة لإختلاف عدد النيوترونات بها - ولقد وجد أنه لمعظم العناصر أكثر من نظير واحد وقد يكون بعضها مشعاً، كما تحتوى كثير من العناصر الطبيعية على خليط من نظائرها.

** فترة نصف الحياة : نود هنا أن نشير إلى أن كل عنصر مشع لا يتم التحول النووى فى جميع ذراته فى وقت واحد، ولكن يتم التحول فى نسبة معينة من نوى ذراته فى كل ثانية - ويلاحظ أن هذه النسبة تكون ثابتة للعنصر المشع الواحد، ولا تتأثر بأى مؤثر كما أن أنسب طريقة لقياسها هى النصف حياة. وتعرف فترة النصف حياة على أنها الزمن اللازم ليفتت فيه نصف عدد نوى هذا العنصر - وتتفاوت فترات النصف حياة بين أجزاء من المليون من الثانية أو تكون بالبلايين من السنين فى بعض الأحيان. مثال : إذا بدء بجرام راديوم فإنه يتبقى منه ١/٢ جرام بعد مرور ١٥٩٠ عاماً، بينما يتحول النصف جرام الآخر إلى غاز

اليورانيوم بالنيوترونات. إلا أن هان اعتبر أن منتج جوليوت - كورى وسافيتش نظير الأكتينيوم وذلك لأنه انفصل مع اللانثانوم. لكن كورى وسافيتش وجد أن الترسيب المقطر للأوكسالات من محلول حامض النيتريك يحتوى على الراديوم ٣,٥ ساعة نصف حياة الذى يتركز مع اللانثانوم بدلاً من الأكتينيوم. ولقد كان من الواضح أن هذه المادة لم تكن على الإطلاق نظير الأكتينيوم، ومن ثم فإن كورى وسافيتش أعلنوا فى النهاية أن خصائص الراديوم ٣,٥ ساعة هى نفس خصائص اللانثانوم - ولكن كانت هناك بعض الشكوك من أن هذا النشاط نتج عن اللانثانوم إلا أن هذه الشكوك سرعان ما تبددت.

فى الواقع أن إكتشاف كورى وسافيتش أذهل هان وإستراسمان وذلك لأنه أدى إلى حدوث تطور جديد فى مجال تحول العناصر - وعليه فقد أعلن عالم الكيمياء الإشعاعية الكندى كوك فى سبتمبر ١٩٣٨م الذى كان يزور ألمانيا فى ذلك الوقت بالآتى :

نظراً لأن كورى وسافيتش أمكنهما تحويل الأكتينيوم إلى لانثانوم، فإنه من المتوقع أن تكون الذرة الأم (الراديوم) فى الحقيقة باريوم. وبناءً على تصريحات كوك قاما هان وإستراسمان بتجاربهما فى محاولة للتعرف

هليوم ورادون، ثم يتبقى منه ١/٤ جرام بعد مرور ١٥٩٠ عاماً أخرى - وهكذا يكون فترة نصف الحياة لعنصر الراديوم المشع هى ١٥٩٠ عاماً.

ملحوظة : فترة نصف الحياة لكل من الهيليوم ٥ (2×10^{11}) ثانية، هيدروجين ٣ ($12,3$) سنة.

على ما إذا كان نظير الراديوم هو فى الحقيقة راجع إلى نظير مشع أو ينسب إلى أحد صور الباريوم - ولكن لدهشتهم وجدا أن الأجزاء النشطة غير منفصلة من الباريوم، وذلك على الرغم من احتمال فصلها من الثوريوم المشع وهو المعروف بنظير الراديوم. وعليه ففى أوائل يناير عام ١٩٣٩م علق هان وإستراسمان على ذلك بالآتى :

لقد توصلنا إلى أن نظائر الراديوم لها خصائص الباريوم، هذا بالإضافة إلى أننا أصبحنا نتعامل مع هذه المواد الجديدة على أنها باريوم وليست راديوم. ونظراً لأنهما كانا غير متوقعان لهذه النتيجة، فقد كانا مترددان فى أخذ القرار النهائى، ولقد علقا على ذلك بالآتى :

من الناحية الكيميائية نستطيع أن نقول أنه يجب تغيير رموز الراديوم، الإكتينيوم، والثوريوم فى خطتنا وذلك بالباريوم، اللانثانوم والسيزيوم- ولكن من ناحية الكيمياء النووية " والكلام على لسان هان وإستراسمان " فنحن لا نستطيع أن نتخذ القرار الذى سيتناقض مع جميع التجارب السابقة فى الفيزياء النووية. ولكن قد بدا بعد ذلك أن هان وإستراسمان قد عقدا العزم على إتخاذ قرار نهائى. فهما قبل ذلك وجدا أن أحد عناصر عبر اليورانيوم كان مشابهاً لعنصر الرينيوم ومن ثم فقد إفترضا أنه مشابه أعلى - ولكن عندما تحقق إفتراضهما من أن الراديوم هو باريوم بدا لهما أن الناتج المنتسب إلى عنصر الرينيوم من المؤكد أن يكون مشابه أقل وليس أعلى [حيث أن عدده الذرى هو ٤٣ وقد كان يقال

عنه قبل ذلك ماسوريوم]. ولقد كان من نتيجة ذلك أن أعلن هان وإستراسمان أن مجموع أعداد كتل الباريوم والماسوريوم هو على الترتيب $138 + 101 = 239$ وهو نفس مجموع كتل اليورانيوم والنيوترون. ولقد تبين من ذلك أنهما أرادا أن يوضحا أن النيوترون الذي يقسم نواة اليورانيوم إلى جزئين متقاربين في الوزن هما أقرب كثيراً إلى كتل كل من الباريوم والماسوريوم. [في الحقيقة أن هذا النوع من التفاعلات النووية لم يعلن عنه من قبل ومن ثم فقد كان هان وإستراسمان هما أول من أعلن عنه]. ولكن في هذه النقطة بالتحديد تروى بعض السجلات عن أن فكرة هان وإستراسمان لم تكن الأولى حيث قام بعرضها فيرمي لأول مرة عام ١٩٣٣م، ولكن هان وإستراسمان لم يؤخذاها بجدية عندما أعلن عنها - ولكن على أية حال نستطيع القول بأنهما أكدا صحة ما أعلنه فيرمي الأمريكي. إلا أن السجلات أشارت إلى شيئاً آخر وهو الخاص بعنصر الرينيوم الذي أشار إليه هان وإستراسمان، فلقد بدا واضحاً أيضاً أنه لم يكن إكتشافاً جديداً..... بل أن أول من إكتشفه هي مدام إيذا نوداك الكيميائية من ألمانيا وذلك في عام ١٩٢٤م، ولقد إتضح ذلك من خلال مقال كتبته عن العنصر ٩٣ والذي كانت فيه تنتقد العلماء الإيطاليين [إلا أننا سنكتفي هنا بما قالته حول تفاعلات اليورانيوم عند قذفها بالنيوترونات]

فقد قالت مدام إيذا :

إننا نجد في هذا النوع الجديد للإنحلال النووي تفاعلات نووية على جانب كبير من الأهمية. فمن المعقول والممكن تصوّره هو قذف النواة الثقيلة بالنيوترونات حتى يتم تحطيم النواة إلى شظايا كبيرة - وهذه الشظايا هي عبارة عن نظائر للعنصر المعروف لنا إلا أنها (أى هذه النظائر) غير متشابهة. في الواقع أن أهم منجزات هان وإستراسمان ما هي إلا تطويراً لإكتشافات فيرمي الأمريكي ومدام إيذا الألمانية - إلا أن هذا لم يتوقف عند هذا الحد، ففي يناير ١٩٣٩م أعلنت مدام ميتير* الألمانية في خطابها الذي نشر باللغة الإنجليزية في المجلة العلمية "الطبيعة" الآتي :

يبدو عند إلقاء أول نظرة على النتائج التي حصلنا عليها هان وإستراسمان أنها صعبة الفهم. وفي الحقيقة أن تكوين العناصر الأقل كثيراً من اليورانيوم قد تم وضعها في الاعتبار من قبل، لكنها كانت دائماً مرفوضة لأسباب فيزيقية وذلك لأن الأدلة الكيميائية لم تكن واضحة تماماً لهذه العناصر - فخرج الأعداد الهائلة من الدقائق ذات الشحنات لم توضع في الاعتبار عند إستخدام المخترفات الصغيرة لحاجز كولومب.

وتضيف مدام ميتير : ويبدو من الأفكار المطروحة حالياً بالنسبة لسلوك النواة الثقيلة أنها تختلف كلية عن النواة الخفيفة وذلك من ناحية

* مدام ميتير : هي عالمة ألمانية في الفيزياء النووية، كانت تقيم في برلين إلا أنها تركتها إلى السويد لكي تعمل مع ابن أخيها فريش الذي كان يعمل قبل ذلك في معمل عالم الفيزياء النووية بوهر في كوبنهاجن بالدنمارك.

الإنحلال - ويتوقع أن درجة ثبات نواة اليورانيوم صغيرة ولذا فإنه عند قذفها بالنيوترون فإنها تنقسم إلى جزئين شبه متساويين فى الحجم - ويطلق على طريقة التقسيم هذه "بالإنشطار" *.

وبناءً على ما سبق (إذا حدث إنقسام لنواة اليورانيوم نتيجة إختراقها بأحد النيوترونات) فإن ظهور العناصر الخفيفة مثل الباريوم واللاتانوم ضمن نواتج الإنشطار يعتبر أمر سهل ومن الممكن تفسيره وتفهمه. كما يقول فريش ومدام ميتير : أنه بسبب الإرتفاع الغير عادى لمعدل النيوترون إلى البروتون ** فإن الأجزاء المنشطرة تكون غير ثابتة ومن ثم فإنها تمر فى سلسلة بيتا لإنحلال هذه الأجزاء. وعليه فلقد كانت فترات نصف الحياة لأعضاء سلاسل الإنحلال هذه موزعة بطريقة غير

* الإنشطار : هو مصطلح إقترحه عالم الأحياء الأمريكى أرنولد الذى كان يعمل فى كوبنهاجن مع العالم هيفيسى - وقد كانت تستعمل هذه الكلمة قبل ذلك الوقت فى وصف تقسيم الخلايا الموجودة فى الأعضاء الحية - أما فى المجال النووى فهي تعنى انفلاق نواة ثقيلة إلى قسمين متساويين تقريباً هما نواتى عنصرين أخف منها ويكون هذا الإنشطار مصحوباً بإطلاق كمية ضخمة نسبياً من الطاقة وإثنين أو أكثر من النيوترونات، ويحدث أحياناً أن يتم هذا الإنشطار تلقائياً وذلك بفعل الإمتصاص النووى لأشعة جاما أو النيوترونات أو أية دقائق أخرى.

** البروتون والنيوترون من الجسيمات الثقيلة فى نواة الذرة - وتبلغ كتلة البروتون حوالى 1.6725×10^{-27} من الكيلوجرام، وكتلة النيوترون 1.6748×10^{-27} من الكيلوجرام - أما لشحنة البروتون فهي $+1.6 \times 10^{-19}$ كولوم أما شحنة النيوترون فهي صفر.

صحيحة لعنصر عبر اليورانيوم. ويبدو واضحاً مما سبق أن الدلائل والبراهين التي أدت إلى إكتشاف ظاهرة الإنشطار النووي هي في الأصل كيميائية - حيث أنها وضعت على أساس إفتراض تطابق أحد النواتج الإنشطارية مع الباريوم. وبالإضافة إلى ما أعلنه فريش وميتنير فقد تصوروا أن الإنشطار النووي يصحبه دائماً خروج كمية هائلة من الطاقة - ومن ثم فقد وضعوا نظريتهم الخاصة بالإنشطار النووي والتي اعتبرت قاطعة عهد جديد في مجال الطاقة النووية - وتقول هذه النظرية :

أنه عند إصطدام نواة ذرة اليورانيوم بأحد النيوترونات فإن النواة تنشط وتتطاير الشظايا الناتجة عن هذا التصادم في جميع الإتجاهات وبسرعات عالية ويصاحب عملية الإنشطار هذه خروج كميات كبيرة متحررة من الطاقة، وعلاوة على ذلك فإن أنشطة الجزيئات الذرية تساعد على إنتاج التآين الهائل في طريقها. وبعد أيام قليلة من وضع نظرية الإنشطار النووي إستطاع فريش من خلال تجاربه أن يثبت [هذا بمساعدة غرفة التآين وجهاز تضخيم الصوت] أن تحطيم نواة اليورانيوم عند قذفها بالنيوترونات تؤدي إلى تحرير الجسيمات بإستثناء القوى المتأينة - وبهذا إستطاع فريش أن يؤكد صحة نظريته.

أما على الصعيد العالمي فإن ما حدث هو الآتي : قبل أن يبدأ فريش تجاربه الأخيرة كان قد أبلغ نيلز بوهر العالم الفيزيائي الدانماركي عن تصوره الخاص بنظرية الإنشطار النووي. وعليه ففي أثناء زيارة

بوهـر* للولايـات المتحدـة الأمريكـية صرح بهذه المعلومات الجديدة في العديد من الأماكن التي طرقها، هذا بالإضافة إلى التقرير الذي قدمه في المؤتمر الدولي للفيزياء النظرية في واشنطن د. سي. في ٢٦ يناير ١٩٣٩م.

وفور تقديم بوهـر التقرير الخاص بالإنشطار النووي بدأ العلماء الأمريكيان في القيام بإجراء تجاربهم وذلك للتأكد من صحة المعلومات التي أدلى بها بوهـر والتي تمثلت في إكتشاف قدرة التأين الشديد المتوقع من نواتج الإنشطار النووي. أما على الجانب الآخر من الأطلنطي وبالتحديد في منتصف فبراير ١٩٣٩م إستطاع فريش أن يؤكد ما أعلنه لبوهـر وذلك من

* بوهـر : نيلز بوهـر " العالم الدانمركي " إستطاع أن يضع نموذجاً جديداً للذرة حيث تغلب فيه على الصعوبات التي واجهت رذفورد، فقد راعى بوهـر في ضوء دراسته لنظرية الكم لـ بلانك، وطيف ذرة الهيدروجين ما يساعده لوضع نظريته للذرة والتي تتمثل في الآتي :

أن الإلكترونات تدور حول النواة وذلك في مستويات طاقة محددة وذلك دون أن يفقد الإلكترون أية جزء من طاقته، كما أن للإلكترون طاقة معينة تتوقف على بعد مستوى دورانه من النواة وتتزايد هذه الطاقة بانتظام كلما بعد هذا المستوى عن نواة الذرة - ويعبر عن طاقة كل من المستويات هذه بعدد صحيح يسمى بالعدد الكمي ويبدأ بالرقم ١ للمستوى الأول والرقم ٢ للمستوى الثاني وهكذا - كما أن الإلكترون لايفقد ولايشع أية كمية من طاقته في الظروف العادية ولكن إذا تعرض لأي مصدر خارجي كالتسخين أو التفريغ الكهربى فإن الذرة تصبح غير مستقرة ومن ثم يقفز الإلكترون من غلافه إلى غلاف خارجي له مستوى أعلى من الطاقة - وتسمى هنا كمية الطاقة اللازمة لانتقال الإلكترون واحد من مستوى لآخر يعطوه بالكوانتم - ويظل الإلكترون يدور في المستوى ذو الطاقة الأكبر لمدة قصيرة ثم يعود بعد ذلك فاقداً ما إكتسبه من طاقة على هيئة إشعاع طيفي له تردد مميز، ويلاحظ أنه كلما زادت المسافة بين المستويات التي يتحرك فيها الإلكترون كلما زاد تردد الطيف المنبعث.

خلال تجاربه والتي أشرنا إليها قبلاً. وبالفعل توصلت الجامعات الأمريكية إلى النتائج التي أيدت تماماً صحة نظرية فريش، ومن هذه الجامعات : جامعة كولومبيا، جون هوبكنس، كاليفورنيا ثم معهد كارينجي بواشنطن.

وبالإضافة إلى الأدلة التي أكدت أن الإنشطار النووي مشتق من تأثيرات التأين والغرفة المعتمدة - إستطاع جوليت في باريس إكتشاف أن الشظايا المنشطة كانت تتطاير بسرعات عالية من طبقة يورانيوم رقيقة وتتجمع على سطح موضوع على مسافة قصيرة. وفي الدانمارك حصل فريش وميتير على نفس نتيجة جوليت ولكن بإستعمال سطح الماء لتجميع النواتج المرتدة. أما في الولايات المتحدة الأمريكية فقد إستطاع ماكملان أن يبين من خلال تجاربه أن الجسيمات المنشطة لها مسافة تقدر بحوالى ٢,٢ سم في الهواء العادى. ولقد كان هناك إتفاق على أن النويات التي خرجت من اليورانيوم وجدت أنها تملك خصائص إشعاعية مثل التي كانت في وقت ما تنسب إلى عناصر عبر اليورانيوم.

في النهاية نود أن نقول وباختصار شديد أن إكتشاف الإنشطار النووي قام أساساً على معرفة نواتج الإنشطار - وربما أهم المجادلات التي تمت في هذه الإكتشافات كانت تعود إلى إنشطار أنوية اليورانيوم بالنيوترونات. فبالإضافة إلى اللانثانوم والباريوم (قد أشرنا إليهما من قبل) اللذين يعتبران الأصل في إكتشاف الإنشطار النووي - فقد كان جوليت -

كورى وسافيتش فى فرنسا، فيرز وبريتسكير فى إنجلترا، أبيلسون فى الولايات المتحدة الأمريكية، هان وإستراسمان فى ألمانيا، ثم هاين وأتين وباكير فى هولندا - جميعاً توصلوا إلى تكوين (سواء الشظايا المنشطرة أو النواتج المنحلة إشعاعياً) عناصر عديدة متوسطة فى العدد الذرى وهى كالتى :

برومين ،	كريبتون ،	إسترونيوم ،	موليبديم
إكسينون ،	سيزيوم ،	ريوبيديوم ،	أنثيمونى
تيلوريم ،	أبودين		

فى الواقع أن معظم الأعمال التى تم إنجازها فى الفترة الأخيرة لم تأخذ أكثر من ٣ شهور من العمل المتواصل وهذا يعد إنجاز هائل فى عملية الإنشطار النووى وذلك منذ إعلان فريش عن نظريته الخاصة بالإنشطار النووى.

فما لاشك فيه أن الوصف السابق لإنشطار اليورانيوم بواسطة النيوترونات البطيئة اعتبر بالفعل أول وأهم حدث فى تاريخ الإنشطار النووى والطاقة النووية - بالإضافة إلى ذلك نجد أن النتائج التى نشرت عن أن نويات العناصر ذات العدد الذرى الكبير يمكن إنشطارها بالنيوترون البطيء كما أن الجسيمات أو الدقائق النووية لها القدرة على إنشطار الذرة*

* الذرة : لقد كان التفكير السائد عن الذرة هو أنها جسيم مادي غير قابل للإنقسام بالأساليب الكيميائية - كما أنها كانت تعتبر حجر البناء الأساسى فى العناصر الكيميائية وتختلف

فعلى سبيل المثال : وجد أنه من الممكن أن يتم إنشطار اليورانيوم
بالنيوترونات** ذات الطاقات المختلفة وهى : البطيئة والمتوسطة

العناصر مثل الحديد والرصاص والكبريت عن بعضها البعض لأنها تحتوى على أنواع
مختلفة من الذرات. ولكن بتقدم التجارب والاكتشافات تم التوصل إلى أن الذرة تحتوى على
قلب داخلى أشد كثافة هو النواة ووسط خارجى أقل كثافة يحتوى على الكترونات فى حالة
حركة حول النواة وتعتبر الذرات متعادلة كهربياً. إلا أنه بعد ذلك تم التوصل إلى أن الذرة
لم تتركب فقط من الدقائق الأولية الثلاث وهى الالكترون والبروتون والنيوترون بل من
بعض الجسيمات الأولية الهامة وهى :

أ- الفوتون وكتلته تساوى صفر فى حالة السكون وشحنته أيضاً تساوى صفر.

ب- الجسيمات الخفيفة وهى : النيوتريно، والالكترون والبوزيترون.

ج- الجسيمات المتوسطة وهى : الميزون الخفيف وهو يساوى ٢٠٩ كتلة الكترون،
ميزون باى المتعادل ويساوى ٢٦٦ كتلة الكترون، ميزون باى ويساوى ٢٧٦ كتلة
الالكترون، الميزون الثقيل ويساوى ٩٩٦ كتلة الكترون.

د- الجسيمات الثقيلة وهى : البروتون، النيوترون، الهيدرون طبداء، الهيدرون سيجما،
والهيدرون إكسى.

** نود أن نشير إلى أن زيادة سرعة وطاقة الجسيمات المشحونة مثل الالكترونات أو
البروتونات أو الأيونات الثقيلة تتم عن طريق إستخدام المعجل والذي يقوم بذلك عن طريق
إستخدام القوى الكهربائية أو المغناطيسية أو الإثنين معاً - وتعمل المعجلات على جعل
الجسيمات تتحرك بسرعات تقترب من سرعة الضوء - وهى تشمل الأنواع الأتية : معجل
البيئاترون، معجل كوكروفت مع والتن والسكلوترون، معجل الخطى والسينكروترون
والسينكروترون ومولدات فان دى جراف.

فبالنسبة للسينكرو سكلوترون فإنه يتناقص فيه تردد جهد التعجيل مع مضى الزمن حتى
يتوافق تماماً مع الدورات البطيئة للجسيمات المعجلة - وينتج معدل تناقص عجلة الجسيمات
من زيادة الكتلة بفعل الطاقة (كما تنص على ذلك النظرية الخاصة النسبية). أما
السينكروترون فهو معجل يتم فيه تعجيل الجسيمات حول مسار دائرى بفعل المجالات
الكهربية ذات التردد الإشعاعى وتجرى زيادة المجالات المغناطيسية للتوجيه والتركيز فى

والسريعة (وهذا بالنسبة لليورانيوم ٢٣٥). أما اليورانيوم ٢٣٨ الأكثر ثقلًا، فقد وجد أنه يتطلب نيوترونات سريعة تصل طاقاتها إلى مليون إلكترون فولت* - أما النويثان الأخريتان والغير موجودتان في الطبيعة وهما اليورانيوم ٢٣٣ ذو العدد الذرى ٩٢، والبلوتونيوم ٢٣٩ ذو العدد الذرى ٩٤ فيمكن إنشطارهما بالطاقات المختلفة للنيوترونات وهى البطيئة والمتوسطة والسريعة. أما بالنسبة لذرات العناصر الأخرى ، فقد وجد أن انشطار الثوريوم يتطلب نيوترونات سريعة تصل طاقاتها إلى ١ مليون إلكترون فولت - وبالمثل يحدث ذلك مع ذرة البروتاكتينيوم. بالإضافة إلى هذا فإن عالم الفيزياء الإنجليزي جرانت استطاع فى عام ١٩٣٩م عن طريق استخدام الديوترونات وطاقة قدرها ٩ مليون إلكترون فولت أن يحصل على انشطار نوى كل من اليورانيوم و الثوريوم- وفى أقل من عام حصل جاكوبسين وليسين فى الولايات المتحدة على نفس النتائج.

أما فى عام ١٩٤١م فقد استطاع العلماء الأمريكيين القيام بالعديد من التجارب مستخدمين فى ذلك طاقات مختلفة من الإلكترون فولت - فقد

البؤرة فى تزامن مترافق مع الطاقة التى تكتسبها الجسيمات بحيث يبقى نصف قطر المدار ثابتاً.

* الإلكترون فولت : هو عبارة عن طاقة الحركة التى يكتسبها الإلكترون أو الأيون الموجب الشحنة وذلك عندما يجرى تعجيله تحت فرق جهد كهربى مقداره فولت واحد. ويعادل الإلكترون فولت مقدار 1.602×10^{-19} أرج وهو عبارة عن وحدة طاقة وليس وحدة جهد كهربى.

استخدما فيرمي وسيرجي طاقة تقدر بحوالى ٢٣ مليون الكترون فولت لدقائق ألفا - وأيضاً ديسوبر وهافينر استخدما ٧ مليون الكترون فولت للبروتونات - ثم هاكسبي وشوب وستيفنس وويلز استخدموا طاقة قدرها ٦,٣ مليون الكترون فولت لإشعاعات جاما. ومن ثم فقد كانت النتائج جميعاً جيدة - ولكن أطلق على نتائج التجارب الأخيرة اسم الانشطار الضوئى نظراً لأنها تمت بواسطة الإشعاعات.

مما سبق يتضح لنا أن الانشطار النووى لم يتم إلا فى الذرات التى عددها الذرى لا يقل عن ٩٠ ولكن فى عام ١٩٤٧م تم بنجاح انشطار العناصر الآتية :-

البيسمٲ - الرصاص - الثاليم - الميركيرى
الذهب - البلانتيوم - التانتالم - وقد كان

ذلك كله فى المعمل الإشعاعى "بيركلى" بواسطة استعمال دقائق ألفا، الديوترونات أو بالنيوترونات ذات الطاقة العالية جداً والنسى تقدر بحوالى ١٠٠ مليون الكترون فولت أو أكثر.

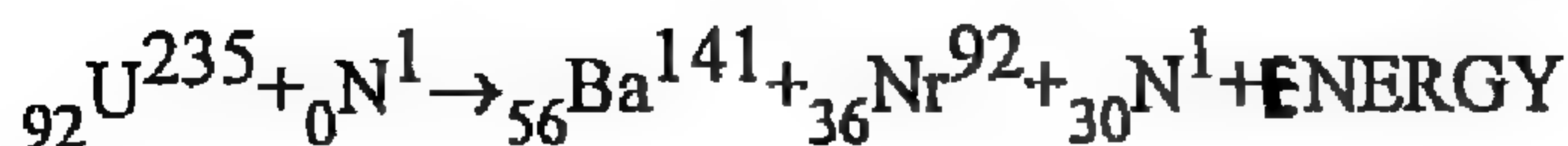
أما ذرة عنصر البيسمٲ ذات العدد الذرى ٨٣ فقد تم شطرها بقذائف الديوترونات بطاقة تصل إلى ٥٠ مليون الكترون فولت - بينما نجد أن ذرة عنصر التانتالم ذات العدد الذرى ٧٣ تطلبت دقائق ألفا وطاقة تصل إلى ٤٠٠ مليون الكترون فولت. وبالإضافة إلى مسبب الانشطار النووى (الذى هو ناتج عن اقترحام أحد الجسيمات للنواة) فإن النيوكليدات (التى

أشرنا إليها سابقاً وهي الصور الذرية للعناصر) التى يصل عدد كتلتها إلى ٢٣٠ أو أكثر تنشط تلقائياً - ولقد اكتشفت هذه الظاهرة فى اليورانيوم ٢٣٨* الموجود فى الطبيعة عن طريق عالما الطبيعة النووية فليرفو وبيتر جاك فى عام ١٩٤١م. [وهنا نود أن نشير إلى كيفية التفاعل المتسلسل** فى أبسط صورة : فى الواقع أنه عند قذف نواة نظير اليورانيوم ٢٣٥ بالنيوترون فإن ما ينتج عنه هو ٣ نيوترونات - ومن ثم فقد تنهيا الظروف المناسبة ويصيب أحد هذه النيوترونات الناتجة نواة ذرة اليورانيوم ويحدث بها تفاعل نووى آخر وتتطلق ٣ نيوترونات ثانوية جديدة كل منها يستطيع أن يصيب نواة ذرة يورانيوم وتحدث بها تفاعل نووى - وهكذا تستمر التفاعلات النووية لأنوية اليورانيوم تلقائياً - وهذا بالطبع ما نطلق عليه بالتفاعل المتسلسل - وكما أشرنا من قبل فإن أهمية هذا التفاعل المتسلسل هو فى الأساس يستخدم فى تشغيل المفاعلات النووية لإنتاج الطاقة والنظائر المشعة وأيضاً فى صناعة القنبلة الذرية].

وعليه فتقدر فترة نصف الحياة لليورانيوم الطبيعى ٢٣٨ فى حالة الانشطار التلقائى بحوالى ١٦١٠ سنة وهذا يعنى أنه فى كل واحد جرام من

* اليورانيوم الطبيعى : هو بشكله الموجود فى الطبيعة ويحتوى على ٠,٧% يورانيوم ٢٣٥ مع ٩٩,٣% يورانيوم ٢٣٨ وآثار ضئيلة من اليورانيوم ٢٣٤، وهو يسمى أيضاً اليورانيوم المعتاد

** معادلة التفاعل المتسلسل هى :



اليورانيوم الطبيعي ما يقرب من ٢٥ نواة في المتوسط تمر بسلسلة إنشطار تلقائي كل ساعة. ومن ثم فإن معدل الانحلال الإشعاعي لليورانيوم الطبيعي ٢٣٨ عن طريق خروج دقيقة ألفا هو حوالي ٢ مليون مرة. وحتى تتضح الصورة حول عبارة فترات نصف الحياة سنعطى بعض الأمثلة لنظائر بعض العناصر المتمثلة في الآتي :

إسم النظير	نصف الحياة	إسم النظير	نصف الحياة
هليوم ٥	1.0×10^{12} ثانية	فوسفور ٣٢	١٤,٣ ساعة
أكسجين ١٨	٧١ ثانية	هيدروجين ٣	١٢,٣ سنة
نيوتروجين ١٣	١٠ دقائق	كربون ١٤	٥٧٦٠ سنة
كربون ١١	٢٠,٥ دقيقة		
صوديوم ٢٤	١٤,٨ ساعة		

ولكى تتفهم أكثر الغرض من معرفة فترة نصف الحياة نود أن نقول أن المفاعلات النووية التي سنتحدث عنها بالتفصيل بعد ذلك لها نواتج إنشطار متعددة تستخدم في عمليات توليد الكهرباء بواسطة أنظمة خاصة - كما يتم أيضاً إنتاج أنواع أخرى من الوقود صناعياً في هذه المفاعلات وذلك عن طريق امتصاص النيوترونات بواسطة عناصر كيميائية كثيرة ومن أهم هذه الأنواع المستخدمة في الوقود هي العناصر ذات فترات نصف الحياة الآتية :

النظير أو الوقود المستعمل	فترة نصف الحياة	مصدر الوقود
كوبالت ٦٠	٥,٣ سنة	إمتصاص النيوترونات
سٲرنشيوم ٩٠	٢٨ سنة	ناتج إنشطاري
سيزيوم ١٣٧	٣٠ سنة	ناتج إنشطاري
سيزيوم ١٤٤	٢٨٥ يوما	ناتج إنشطاري
بولونيوم ٢١٠	١٣٨ يوما	إمتصاص النيوترونات
بلوتونيوم ١٣٨	٨٩,٦ سنة	إمتصاص النيوترونات
كوريوم ٢٤٢	١٦٢ يوما	إمتصاص النيوترونات
كوريوم	١٨ سنة	إمتصاص النيوترونات

فى الواقع أنه يوجد حوالى ٢٠٠٠ نظير مشع مختلف ، ولكن المشكلة هى أنه لا يوجد من بينها سوى العدد القليل الذى له فترة نصف حياة مناسبة - وعلى كل فهو متوفر بما يكفى لإستخدامه كوقود فى المولدات الكهربائية بحرارة النظائر المشعة.

إلقاء بعض الضوء على ما سبق :

إستناداً للأفكار التى تصور ها رذفورد فى كامبريدج ثم النجاح الذى حققه نيلز بوهر فى كوبنهاجن، وجد أن الذرة قريبة الشبه بالأنظمة الكوكبية - ومن ثم فقد رأى أن الذرة أقرب فى التشبيه إلى النظام الشمسى وذلك فى حالة إعتبار أن الشمس تمثل مركز الجسم لهذا النظام والذى يناظره النواه فى الذرة التى هى متعادلة الشحنة وتمثل كتلة الذرة.

أما الكواكب فهي تمثل الإلكترونات التي تدور في مدارات
بيضاوية أو دائرية الشكل - وفي الحالة العادية للذرة [والتي تكون الذرة
فيها متعادلة كهربياً] فإن الشحنة الموجبة للنواة تكون غير متأثرة بالشحنات
السالبة للإلكترونات الدائرة في مداراتها - هذا بالإضافة إلى أن عدد
الإلكترونات السالبة يساوي عدد البروتونات الموجبة الموجودة بالنواة.

ونظراً لأن الشحنات جميعاً شبه متقاربة لذا فإن شحنة النواة عبارة
عن العدد الكلي وذلك إذا أخذ في الاعتبار الشحنة الإلكترونية على أنها
وحدة. ولقد تبين من التجارب بعد ذلك أن هذا العدد هو العدد الذري
للعنصر ويرمز له بالرمز (Z) - وهذا يعني أن - ترتيب العنصر في
الجدول الدوري يرجع إلى الوزن الذري حيث أنه يبدأ بالذرة الأخف وزناً
والتي تأخذ الرقم ١ ثم الذرة الأثقل قليلاً تأخذ الرقم ٢ وهكذا.

فعلى سبيل المثال نجد أن ذرة الهيدروجين [وهي أخف أنواع
الذرات] تتكون من نواة [يقال عنها أحياناً بروتون] مع شحنة موجبة
عدها واحد ومحاطة بالإلكترون واحد يدور في مدارها وشحنته سالبة. أما
الذرة الثانية فهي الهليوم وتتكون من نواة [يقال عنها أحياناً دقيقة ألفا] ولها
شحنة موجبة وعددها ٢ ويحاط بها ٢ الكترون يدوران في مدارها - وهكذا
بالنسبة لبقية العناصر الأخرى. ويلاحظ أن العدد الذري يساوي عدد
الإلكترونات الموجودة في الذرة المتعادلة - وإليك بعض الأمثلة:

العنصر	العدد الذرى	العنصر	العدد الذرى
ليثيوم	٣	نحاس	٢٩
كربون	٦	فضة	٤٧
نيتروجين	٧	ذهب	٧٩
أكسجين	٨	راديوم	٨٨
صوديوم	١١	يورانيوم	٩٢
كلورين	١٧		
حديد	٢٦		

أما بالنسبة للذرات الثقيلة مثل الذهب فإن الالكترونات الكثيرة الموجودة بها تقوم بالدوران حول مداراتها ولكن ذلك بطريقة مختلفة عن تلك التى تحدث بين الكواكب والشمس. وبخصوص المعالجات الكيميائية فإن ما يحدث للذرة المتعادلة هو أن تفقد واحداً أو أكثر من الالكترونات ومن ثم فإنها تتحول إلى أيون. أما الذرات المشكونة كهربياً أو الجزيئات الذرية فإن ما يطلق عليها هو أيونات. فذرات الفلزات القلوية وهى الليثيوم، صوديوم، بوتاسيوم، ريبوبيديوم، والكييزيوم جميعها تميل إلى فقد الالكترون الأكثر بعداً والموجود فى الغلاف الخارجى - بينما بعض الذرات الأخرى لعناصر الهلوجين وهى : الفلورين، كلورين، برومين، ثم الأيودين فهى على العكس إذ أنها تميل إلى ضم الالكترون الشارد إلى أغلفتها ومن ثم فتصبح أيون سالب.

الفصل الثانى

التفاعلات الكيميائية

فى الواقع أننا نقصد هنا الكيمياء الحرارية والتى هى فرع من الكيمياء وتختص بدراسة التغيرات الحرارية المصاحبة للتفاعلات الكيميائية- وحسب قانون بقاء الطاقة [الطاقة لا تفنى ولا تخلق من عدم]، نجد أن كل مادة تملك قدراً معيناً من الطاقة هى عبارة عن طاقة حركة وطاقة وضع - ومن ثم فتعتبر الطاقة الكيميائية صورة من صور طاقة الوضع حيث تكون مخزنة فى المادة نتيجة تركيبها. وكما كلنا يعلم أنه فى حالة حدوث تفاعل كيميائى فإن ما ينتج عنه هو انبعاث حرارة ومن ثم فإن المحتوى الحرارى للمواد الخارجة من التفاعل تكون أقل من المحتوى الحرارى للمواد الداخلة فى التفاعل - وعليه فيظهر هذا الفرق فى الطاقة فى شكل حرارة. ويتضح ذلك فى الآتى:

أن المحتوى الحرارى لثانى أكسيد الكربون المتكون يكون أقل من المحتوى الحرارى لذرة الكربون وذرة الأكسجين [أو الطاقة الذاتية] - وهذا الفرق فى الطاقة الذاتية تحول إلى طاقة حرارية منبعثة.

ويمكن توضيح ذلك بصورة أكثر علمية فى الآتى :

• فى حالة تكوين ثانى أكسيد الكربون فإن ما يحدث هو خروج

٤,١٧ الكترون فولت لكل ذرة كربون وهى تعادل القيمة الحرارية أى

حوالى ٨٠٥٠ كيلو كالورى لكل كيلو جرام وذلك فى حالة الكربون

النقى.

• أما فى حالة الأكسجين والهيدروجين لتكوين الماء فإن الطاقة الخارجة هى ٢,٥ الكترون فولت لكل جزيء ماء حيث تقدر القيمة الحرارية بحوالى ٢٩٠٠٠ كيلو كالورى لكل كيلو جرام وذلك فى حالة ذرة الهيدروجين.

وعليه فيمكننا أن نتبين الآتى : أن الطاقة التى نتجت عن حرق الوقود مثل الفحم (للحصول على ثانى أكسيد الكربون) أو البترول أو الخشب تعتبر فى الحقيقة نوع من الطاقة النووية وذلك لأنها ناتجة من القوى الكهربائية لترابط الإلكترونات فى الطبقة الخارجية للذرة - وعليه فإن الطاقة الناتجة لجميع التفاعلات الكيميائية هى فى الواقع مقيدة بكمية قليلة من الإلكترون فولت أى ذو طاقة محدودة وذلك نتيجة معالجة عنصرى المادة (وبناء على ذلك فإنه لا يتوقع أية زيادة فى حالة وجود أى تفاعلات كيميائية جديدة) الذى يتكون من بناء أو هدم الجزيئات بدون تأثير الأنوية ذاتها.

أما فى حالة الطاقة النووية الناتجة عن الإشطار النووي فهى عبارة عن الطاقة الخارجة نتيجة المعالجات النووية التى تمت ليست فقط فى الأغلفة الخارجية للذرة بل داخل النواة نفسها ومن ثم فإن الطاقة الناتجة عن هذه التفاعلات النووية تعادل ملايين المرات الطاقة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية لنفس العنصر.

بالنسبة للنشاط الإشعاعي، نجد أن الاكتشافات العظيمة التي تمت في أوائل عقدين القرن العشرين قد أضافت الكثير إلى مجال الطاقة النووية، ولقد كان أهم هذه الإنجازات هو أن الذرات قابلة للتجزأ أو الإنشطار وذلك بإتحلال الكترون أو أكثر من الأغلفة الخارجية للذرة أو عن طريق الإنشطار النووي - هذا بالإضافة إلى إلغاء القاعدة التي كانت تقول أن العناصر لا يمكن تحويلها إلى عناصر أخرى متشابهة معها في نفس الصفات حيث أصبحت متوقعة فقط على المعالجات الكيميائية وذلك لأن الإنحلال النووي قد أثبت تحول العنصر إلى آخر مختلف عنه في الخواص الكيميائية والطبيعية - وعلاوة على ما سبق وجد أن جميع الذرات الموجودة في العنصر الواحد ليست متساوية في الحجم والوزن حيث أن معظم العناصر عبارة عن خليط من ذرات مختلفة الكتل. في الحقيقة أن عملية الإنحلال النووي التي يتبعها التحول إلى عنصر آخر مختلف عن الأصل لوحظت أول مرة في العناصر ذات النشاط الإشعاعي.

وعليه فقد وجد أن أحد الأشعة الخارجة من عنصر الراديوم كانت عبارة عن دقائق ألفا التي نتجت أو خرجت من نواة ذرة الراديوم - وهنا نود أن نشير إلى أن دقيقة ألفا عبارة عن نواة ذرة الهليوم، ولذا فإنه بعد إنشطار ذرة الراديوم وخروج دقيقة ألفا فإن عنصر الراديوم يتحول إلى عنصر آخر وهو ما يطلق عليه الرادون - وحسب الخصائص الكيميائية فإننا نجد أن عنصر الرادون يتبع نفس مجموعة الهليوم وذلك من حيث

الغازات النادرة. ومن ثم فإننا نجد أن عنصر الراديوم [الذى هو ضمن مجموعة الفلزات القلوية] مثل الكالسيوم، سترونتيوم، والباريوم قد تحول نتيجة لخروج دقائق ألفا إلى نوعين من الغازات النادرة - ولكن علينا أن نلاحظ أن سلسلة تحولات عنصر الراديوم لم تنته عند هذا الحد وذلك لعدم ثبات وإستقرار عنصر الراديوم ومن ثم فتستمر دقائق ألفا فى الخروج ويتحول عنصر الراديوم إلى راديوم A ثم بعد ذلك إلى راديوم B وهكذا تستمر سلسلة التحولات حتى تصل إلى الراديوم G وهو العنصر الثابت.

ولقد وجد من خلال التجارب التى أجريت على عنصر الراديوم G أن خصائصه الطبيعية والكيميائية متشابهة تماماً لعنصر الرصاص، إلا أن الإختلاف الوحيد هنا هو فى الوزن الذرى، فقد وجد أن الوزن الذرى للراديوم G ٢٠٦ بينما عنصر الرصاص الطبيعى هو ٢٠٧,٢.

النظائر :

ويمكن تفهم معنى النظائر من الحالة السابقة وهى الخاصة بالراديوم G وعنصر الرصاص حيث كانت تعتبر الحالة الأولى من نوعها بالنسبة لإختلاف الكتل التابعة لعنصر واحد إلا أنه وجدت بعد ذلك أمثلة أخرى مثل: الثوريوم C، والراديوم C ثم البيسمث. بالإضافة إلى ما سبق فقد تم التوصل إلى أن الخاصية المميزة لتحديد السلوك الكيميائى والطبيعى لذرة أى عنصر لم تعد تعتمد على كتلة الذرة وذلك لإختلافها كما أشرنا قبلاً

ومن ثم تم الإعتماد على شحنتها النووية والتي هي تساوى عدد الالكترونات الموجودة فى حالة تعادل الذرة. وعليه فقد روعى إستخدام مصطلح نظائر للمواد المتساوية فى العدد الذرى والمختلفة فى الكتل الذرية - ويلاحظ ذلك فى الراديوم G الذى هو نظير الرصاص، والراديوم C الذى هو نظير البيسموت. وعلاوة على ماسبق فقد لوحظ أو النظائر تشبه التوائم فى الكثير من الحالات إلا أنها مختلفة فى الكتلة كما أشرنا من قبل. وبالرجوع إلى عام ١٩٢٠م نجد أن أستن الذى كان يقيم فى كامبريدج إستطاع أن يكتشف أن ظاهرة النظائر المشعة ليست مقيدة فقط على العناصر الموجودة فى نهاية قمة جدول العناصر ذات الأوزان الذرية الثقيلة، بل أنها تحدث أيضاً فى العناصر الخفيفة ومن ثم فقد وجد أن غاز النيويم النادر كان أول من بين أنه يتكون من نظيرين كتلتها ٢٠، ٢٢ - وقد إتضح بعد ذلك أن معظم العناصر تقريباً هى نظائر مختلطة.

وهنا نود أن نلفت النظر إلى أن الهيدروجين كان آخر العناصر التى وجدت مختلطة بنظيرين، فبالإضافة إلى ذرة الهيدروجين الخفيفة التى كتلة نواتها تساوى ١ فقد وجد أن نظيرها الثقيل كتلته تساوى ٢، وهنا يجب أن نلاحظ أن الشحنة النووية فى كلتا الحالتين تساوى ١ وعليه فإن النظير الثقيل لذرة الهيدروجين أطلق إسم الديوتيريم - أما نواة الديوتيريم التى كتلتها تساوى ٢ وشحنتها تساوى ١ أطلق عليها أسم ديوترون. [نود أن نوضح ببساطة أن ذرة الهيدروجين الثقيل هى الديوتيريم، وتحتوى نواة

الهيدروجين الثقيل على ١ بروتون، ١ نيوترون علاوة على البروتون الواحد الذى للهيدروجين العادى]. أما أكسيد الديوتيريم والذى يطلق عليه الماء الثقيل فهو عبارة عن ماء يحتوى بشكل مميز على أكثر من النسبة الطبيعية من ذرات الهيدروجين الثقيل (الديوتيريم) وهى جزء من ٦٥٠٠ جزء مما هو عليه عدد ذرات الهيدروجين المعتاد - ويستخدم الماء الثقيل كمعدل فى بعض المفاعلات وذلك لأنه يبطئ سرعة النيوترونات بشكل فعال، كما أنه له مقطع عرضى منخفض التأثير على إمتصاص النيوترونات.

الفصائل الإشعاعية للعناصر المشعة [ألفا، بيتا، إشعاعات جاما] :

على الرغم من أن الراديوم يعتبر من أهم العناصر المولدة للإشعاعات إلا أن اليورانيوم يعتبر العنصر الوحيد الذى لا منافس له على توليد الإشعاعات، فهو (أى اليورانيوم) العنصر الأول الموجود فى الطبيعة صاحب أعلى رقم للوزن الذرى وعدده أيضاً. فاليورانيوم يمر بسلسلة طويلة من الانحلال الإشعاعى إلى أن تصل فى النهاية إلى عنصر الرصاص الثابت والمستقر - كما توجد أيضاً سلسلتان من العناصر النشطة إشعاعياً فى الطبيعة ويطلق عليها الأكتينيوم والثوريوم ومن ثم فإن الرصاص هو الناتج النهائى والأكثر شيوعاً فى هذه السلاسل الثلاث.

ويعتبر اليورانيوم صاحب المرتبة العليا فى سلاسل الراديووم والأكتينيوم، أما الثوريوم فهو بمثابة نقطة بدء سلسلة الثوريوم - ولذا فيتوقع علماء الفيزياء النووية أن جميع اليورانيوم والثوريوم الموجودان فى العالم سيتحولان فى النهاية إلى رصاص. إلا أنه يجب ملاحظة أن العمر الزمنى لكل من اليورانيوم والثوريوم طويل للغاية، حيث يقدر الإنحلال النهائى لليورانيوم بحوالى ٤,٥ ألف عام، أما الثوريوم فقد يصل إلى ١٤ ألف مليون عام، ومن بين النظائر المشعة أيضاً يوجد الرادون والراديووم A الذى تتبعث من أنويته دقائق ألفا - كما يوجد فى نفس الوقت نوع آخر من الإنحلال الإشعاعى ويتم ذلك بخروج الكترون من الأنوية الداخلية وهذا النوع يطلق عليه إشعاع بيتا، ولقد ظل يطلق عليه إشعاع بيتا حتى تم التعرف على نوعية هذه الدقائق والتي عرفت بعد ذلك بالالكترونات الخارجة - فدقائق بيتا هى فى الواقع الكترونات خارجة بسرعات عالية جداً من النواة. فى الحقيقة أن دقائق ألفا وبيتا تنتمى إلى طبقة الكرات الإشعاعية المتكونة من قذائف ذرية سريعة الحركة. [ملاحظة : لقد أشرنا فيما سبق خصائص كل من دقائق ألفا وبيتا وإشعاعات جاما].

أما بالنسبة للإنحلال الإشعاعى الصناعى فإن قصته تعود إلى التجارب الكثيرة والدراسات التى تمت بعد إكتشاف الإنحلال الإشعاعى الطبيعى. فالحقيقة أن خروج دقائق ألفا وبيتا من العناصر المشعة ما هى إلا المعالجات التى تحدث تلقائياً وبدون أية مؤثرات أو ضغوط خارجية.

ويعتقد علماء الفيزياء النووية أن هناك ذرة واحدة من بين ٨٤٢٠٠٠ ذرة راديوم وأيضاً ذرتين من ١١ ذرة راديوم منحلة إشعاعياً، وتتحل يوماً وذلك بخروج دقيقة ألفا - ويتم هذا بالطبع بدون أية معالجات كيميائية أو إنشطار نوى عن طريق قذفه بدقيقة أو جسيم سريع لتعجيل الانحلال الإشعاعي أو إعاقة معدل الانحلال.

فى الواقع أن النشاط الإشعاعي هو حدث طبيعى للنواة، وذلك لأنه يحدث نتيجة لعدم ثبات البناء الداخلى للذرة الذى يجعلها بالتبعية تميل إلى الانحلال عن طريق خروج دقيقة ألفا وبيتا. ومن بين جميع العناصر المشعة طبيعياً [باستثناء حالة واحدة فقط] توجد عناصر ذات شحنات نووية عالية عددها الذرى يتراوح ما بين ٨١ إلى ٩٢ تعاني دائماً من خاصية عدم الثبات والاستقرار ومن ثم فهذه العناصر تتحلل إشعاعياً. أما فى الحالة الوحيدة المستثناة من هذه العناصر فهى عنصر البوتاسيوم والذى يبين ضعف شديد فى عملية الانحلال وذلك عند خروج دقائق بيتا من ذراته - ويرجع سبب ضعف الانحلال هذا إلى أن الأعداد الذرية فى عنصر البوتاسيوم التى تتحلل منها عدد واحد يومياً يكون أكبر ملايين المرات عند مقارنته بمثيله فى عنصر الراديوم، وهذا ما يسبب الضعف الشديد فى عملية انحلال البوتاسيوم. وعلى الرغم من ذلك فإن ذرات البوتاسيوم ليست مستقرة تماماً ومع ذلك فهى أقل ميلاً للانحلال الإشعاعي وذلك عند مقارنتها بالذرات الثقيلة التى تحمل شحنات ذرية عالية والتابعة للسلاسل

النشطة إشعاعياً - ولقد وجد أن بعض هذه الذرات غير مستقرة تماماً لدرجة أن نصف كميتها ينحل إشعاعياً في أقل من ثانية - ومن ثم فإن هذه الذرات لن تبقى في الطبيعة ما لم تولد من جديد بصفة مستمرة من العناصر الأم المنحلة إشعاعياً والتي هي سلاسل العناصر العليا مثل اليورانيوم أو الثوريوم. وهنا نود أن نشير إلى أن الأفكار التي كانت سائدة حتى نهاية الحرب العالمية الأولى بالنسبة لتحويل العناصر نووياً كانت متوقفة فقط على سلاسل العناصر النادرة جداً ذات الأعداد الذرية الكبيرة والتي هي فوق ٩٠، بينما ذرات العناصر الأقل وزناً لم يطرأ عليها أية محاولة لإنحلالها أو إنشطارها نووياً. ولكن التجارب التي تمت بعد ذلك أثبتت أنه بالإمكان تحويل العناصر ذات العدد الذري الأقل من ٩٠ - وأخيراً تم التوصل إلى تحويل العناصر الخفيفة جداً وذلك ابتداءً من ذرة الهيدروجين ذات العدد الذري ١ إلى ذرة اليورانيوم الثقيلة جداً والموجودة في الطبيعة وعددها الذري ٩٢، وبالإضافة إلى ما سبق فقد أمكن التوصل إلى خلق عناصر جديدة غير موجودة في الطبيعة يبدأ عددها الذري بالرقم ٩٣ ويصل إلى ١٠٠.

رذرفورد (رذفورد) :

إن رذفورد هو أول من حقق بنجاح تام تحويل العنصر الخفيف

عن طريق قذف ذرة النيتروجين بدقائق ألفا [كتلة ذرة النيتروجين ١٤

وشحنتها ٧] وبعد إجراء تجربته خرج رذفورد بالتفاصيل الآتية :

إن دقيقة ألفا السريعة [دقيقة ألفا عبارة عن ذرة هيليوم كتلتها ٤ وشحنتها ٢] اصطدمت بعنف بنواة النيتروجين وعليه فقد إختزقتها ولصقت بها وقد عقب ذلك خروج بروتون من نواة النيتروجين - وقد أدى هذا إلى حدوث تشبع نواة النيتروجين بدقيقة ألفا وأيضاً نتيجة فقد البروتون - ومن ثم فقد أصبحت شحنة النواة كالآتي $7+2-1=8$ ، وعليه فقد أصبحت النواة الجديدة نظير ثقيل ونادر الوجود في الطبيعة حيث أن كتلته ١٧ وشحنته ٨. وبهذه الطريقة أخذ هذا التفاعل الجديد مكاناً [بدءاً من الهيليوم والنيتروجين] لإنتاج الهيدروجين والأكسجين. وعليه فالحلم القديم لكيميائيين القرون الوسطى الخاص بتحويل العناصر والذي ظل طوال القرن التاسع عشر أمر مستحيل استطاع رذفورد أن يجعله حقيقة لا خيلاً وذلك من خلال نتائج التجارب التي حصل عليها.

فما لا شك فيه أن إكتشاف رذفورد للنشاط الإشعاعي الصناعي في عام ١٩١٩م إعتبر بمثابة علم جديد للفيزياء النووية، وفاتحة عهد جديد في الإنشطار النووي - ومن ثم فقد بدأت الدراسات والأبحاث المكثفة في التفاعلات والإنشطار النووي تلعب دوراً هاماً في مجال الفيزياء النووية، ولقد كان من نتيجة ذلك أنه في خلال أقل من ٢٠ عاماً تم الوصول والتعرف على مئات التفاعلات النووية والتي عن طريقها تم تحويل العديد من العناصر إلى أخرى.

وهنا نود أن نقول أنه لا يستطيع أحداً إنكار فضل رذفورد وعظمة إكتشافه فهو يعتبر بحق محول تاريخ فى عالم الطاقة النووية.

كوكروفت و والتون :

فى الواقع أن معدل التقدم فى مجال الإنشطار النووى إرتفع كثيراً فى عام ١٩٣٢م عندما نجح بعض تلاميذ رذفورد ومنهم كوكروفت و والتون فى تحويل عنصر الليثيوم إلى هيليوم وذلك عند قذف طبقة رقيقة من الليثيوم مع أيونات الهيدرجين (وهى البروتونات) التى تم تعجيلها فى المجال الكهربى. وميزة هذه الطريقة تكمن فى إعداد الجسيمات المنشطرة حيث أنها كثيرة جداً فى الكهربية الساكنة وذلك عند مقارنتها بالحزمة الضعيفة لإشعاعات ألفا المنبعثة من المصدر المشع. كما أن هناك ميزة أخرى وهى إمكانية الزيادة الكبيرة لطاقة القذائف الفردية عن طاقة الجسيمات الخارجة من المواد المشعة.

وهنا نود أن نلفت النظر إلى أن الطاقة التى إستعملت فى دقائق ألفا بواسطة رذفورد فى تجربته الرائدة كانت تقدر ببضع ميغا الكترون فولت [١ ميغا الكترون فولت = ١ مليون الكترون فولت] ولكن على الرغم من تقدم كوكروفت و والتون إلا أن كمية الطاقة التى حصلوا عليها وهى ٠,٨ ميغا الكترون فولت كانت أقل بكثير من التى حصل عليها رذفورد، ويرجع ذلك إلى أن الطاقة الكامنة فى ماكينة التعجيل كانت لا تزيد عن ٠,٨ ميغا الكترون فولت - ونظراً لأن القيمة المطلقة لشحنة البروتون

تعاذل أيضاً شحنة الالكترون [شحنة البروتون موجبة والالكترون سالبة] ،
لذا فقد كانت طاقة الجسم التي كانت موجودة فى تجارب كامبريدج فى عام
١٩٣٢م تعاذل ٠,٨ ميجا الكترون فولت. ومن ناحية أخرى فقد لوحظ عند
إجراء مقارنة بين كلا الجهازين وجد أن جهاز إنشطار الذرة الذى إستعمله
كوكروفت و والتون كان متفوقاً على جهاز رذفورد من حيث العدد ولكن
جهاز رذفورد كان أكثر تفوقاً من حيث الطاقة اللازمة لقذائف الجسيمات
المستخدمة. إلا أن الأمر لم يتوقف عند هذا الحد، فقد حدث بعد ذلك تحولاً
كبيراً فى تطور الأجهزة عن طريق بناء ماكينات تحطيم الذرة ذات الطاقات
العالية جداً - ولقد كان الهدف الأساسى من هذه الأجهزة هو تعجيل وزيادة
سرعة الجسيمات مثل : البروتونات، الديوترونات أو دقائق ألفا وذلك
بإستخدام المجال الكهربى بهدف الحصول على الطاقات العالية - وذلك
لأنه من المعروف أن كلما زادت طاقة الجسم كلما كانت فرص إصابة
وإنحلال النواة أفضل وأسهل.

وعليه فقد كانت أولى خطوات التطور هذه هى بناء معجلات
إستاتيكية ذات الكهربائية الساكنة، ولقد كان أول من نجح فى ذلك هو فان دى
جراف من الولايات المتحدة الأمريكية عندما قام ببناء مولد ذو كهربية
ساكنة بطاقة قدرها ٥ مليون فولت د. سى. وقد كان موصل بقناة كبيرة
معزولة لزيادة سرعة البروتونات.

ولقد لقيت هذه النوعية من المعجلات نجاحاً كبيراً وتم إستخدامها في العديد من المعامل، لكن الأبحاث كانت جارية من أجل الحصول على أجهزة أكثر تطوراً من أجل الحصول على طاقات عالية جداً. في الحقيقة أن نوعية معجلات فان دي جراف كانت قدرتها تصل إلى بضعة ملايين من الفولت، لكنها لم تستطع تحمل الزيادة الكبيرة والتي تبلغ مئات وآلاف الملايين من الفولت. أما بالنسبة للمعجلات الأكثر تطوراً فإن فكرتها نبعت من التصور الآتي :

تخيل أو تصور أرجوحة تدور في شكل دائري على محور بدون أى احتكاك على الإطلاق هذا بالإضافة إلى وجود جهاز يعمل في نهاية كل دورة تقطعها هذه الأرجوحة وذلك بإعطاء الأرجوحة ضربة معجلة من أجل مضاعفة سرعتها - ويستمر العمل هكذا وبعد الحصول على عدد كاف من الضربات المعجلة يكون قد تم التوصل إلى كمية التحرك الهائلة المطلوبة. ولقد كانت هذه هي الطريقة التي تم تبنيتها في نظام تكرر زيادة السرعة والتي إستخدمت أو بنيت عليها الأجهزة الحديثة. ومن بين هذه الأنواع الخاصة بماكينات إنشطار الذرة هي ماكينة السيكلوترون والتي شيدت بواسطة إرنست لورانس في بيركلي بولاية كاليفورنيا - أما الماكينات الأكثر تطوراً من السيكلوترون فهي : سينكروترون، بيفاترون ثم كوزموترون وقد حققت هذه الماكينات تقدماً عظيماً في منح الجسيمات الذرية طاقات عالية للغاية. ولقد وجد في هذه المعجلات أن أيونات

الهيدروجين أو الديوتيريوم أو الهليوم تتحرك فى شكل إنبوى دائرى مدفوعة بقوة عن طريق وسائل إنحراف المجال المغناطيسى ومن أهم ما يميز هذه الأيونات أنها تجرى فى مسار دائرى. وبتطبيق الدوران المنتظم للمجال الكهربى فى إتجاه المماس فإنه يعطى هذه الجسيمات ضربات متزايدة فى كل مرة تمر هذه الجسيمات خلال المجال الكهربى.

وهنا نود أن نشير إلى أنه قد تم تحقيق زيادة هائلة فى طاقات قذف الجسيم فى السنوات العشرين الماضية - ولكن يتوقع تحقيق زيادة أكبر من ذلك فى المستقبل القريب. وفيما يلى بعض البيانات الخاصة بطاقة الجسيم النووى ونوعية الأجهزة المعجلة الحديثة :

السنة	نوع المعجل	طاقته بالمليون الكترون فولت
١٩٣٢	مولد كاسكادا	٠,٨
١٩٣٢	سيكلوترون	١,٢
١٩٣٦	المولد ذو الكهربىة الإستاتيكية	٥,٠٠
١٩٣٦	سيكلوترون	٦,٠٠
١٩٣٩	سيكلوترون	١٠,٠٠
١٩٤٢	سيكلوترون	٦٠,٠٠
١٩٤٨	سينكروترون	٣٨٠,٠٠
١٩٥٢	سينكروترون	١٢٠٠,٠٠
١٩٥٥	سينكروترون	٦٠٠٠,٠٠
١٩٦٠	سينكروترون	٢٦٠٠٠,٠٠

نبذة مختصرة عن السيكلوترون :

السيكلوترون عبارة عن جهاز يستخدم في تعجيل سرعة الأيونات ولقد قام ببناء هذا الجهاز إرنست لورانس في عام ١٩٣١م - ويتكون الجهاز [في أبسط صورة] من غرفتين فارغتين كل منهما على شكل حرف D وبينهما مسافة صغيرة وفي منتصف هذه المسافة يوضع مصدر الأيونات المراد تعجيلها مثل : البروتونات أو الديوترونات أو دقائق ألفا - بالإضافة إلى ما سبق فإن الغرفتان متصلتان بنهايتي دائرة متذبذبة ذات تردد عال بحيث تعمل هذه الدائرة على تبادل الجهد على كل غرفة والذي يصل إلى عدة ملايين من المرات في الثانية الواحدة.

ونظراً لأن الغرفتان مجوفتان فإن شدة المجال الكهربى داخلهما تساوى صفراً، ولكن شدة المجال بين الغرفتين لايساوى صفراً، وعليه فإن المجال الكهربى بين الغرفتين يعمل على تعجيل الأيون ويزيد من سرعته. علاوة على ما سبق فإن الغرفتان توضعان داخل إناء إسطوانى كبير إلا أنهما معزولتان تماماً عن هذا الإناء، هذا بالإضافة إلى تفريغ الهواء من هذا الإناء الإسطوانى الذى يوضع بأكمله بين قطبى مغناطيسى قوى جداً بحيث يكون إتجاه سير خطوط الفيض المغناطيسى عمودى على قاعدتى الإناء الإسطوانى. وبالإضافة إلى ما سبق يجب ملاحظة الأتى :

- أن القوة الواقعة على الأيون تساوى حركة الأيون فى إتجاه عمودى على إتجاه المجال المغناطيسى مضروبة فى شحنة وسرعة

الأيون - وهذه القوة الواقعة على الأيون تعمل على جعله يتحرك في اتجاهات دائرية.

● بالنسبة لتعجيل الأيون فإنه يمكن إيضاح ذلك بالآتى : إذا افترضنا أن الزمن اللازم لدوران الأيون نصف دورة هو نفس الزمن اللازم لتغيير نوع قطبية غرقتى الجهاز فإننا نجد أنه فى حالة ما إذا كانت الغرفة الأولى سالبة ستكون الغرفة الثانية موجبة وذلك فى الوقت الذى يصل فيه الأيون إلى الفتحة الموجودة بين الغرفتين وهنا يحدث تعجيل الأيون فتزداد سرعته وبالتالي يزداد نصف قطر دورانه.

● أما إذا انعكس إتجاه المجال الكهربى فى فترات منتظمة بحيث أن زمن كل فترة من هذه الفترات يساوى الزمن اللازم لدوران الأيون نصف دورة فإن ما يحدث هنا هو أن الطاقة التى يكتسبها الأيون تعمل دائماً على زيادة سرعته وأيضاً زيادة نصف قطر دورانه ومن ثم فإن مسار الأيون يصبح مكون من أنصاف دوائر نصف قطر كل منها أكبر من نصف قطر التى تسبقها - وعليه فتصبح النهاية العظمى لنصف قطر دوران الأيون داخل السيكلوترون هو نصف قطر الغرفة - ونتيجة لما سبق فإن الأيون ينفذ من نافذة ضيقة مفتوحة ومن ثم تمر جميع الأيونات بالقرب من لوح مشحون بشحنة سالبة حيث تقوم مساراتها لتصبح حزمة مستقيمة تحت تأثير قوى الجذب الكهربائية وتوضع المادة

المراد قذفها فى طريق هذه الحزمة. (وهذه هى فكرة بسيطة عن معجل السيكلوترون).

فى النهاية نود أن نلفت النظر إلى أن الطاقات الكهربائية المعجلة المستخدمة فى الإنشطار الذرى للجسيمات زاد معدل أداؤها إلى ٧٠٠٠ مرة عن أداء عام ١٩٣٢م، كما أنه سيزيد بمعدل كبير يصل إلى ٣٠٠٠٠ مرة وذلك بمجرد تشغيل معجل كوزموترون الموجود فى المركز الأوروبى للأبحاث النووية فى جنيف - وتعتبر هذه النوعية من المعجلات من الأعمال الرائعة التى تدل على عبقرية فى مجال الخبرات الرياضية والتكنولوجية على السواء.

ومعجل كورموترون العملاق يبلغ محيطه حوالى ٦٦٠ قدم، وهو لم يستخدم مباشرة فى إنتاج القوى بل على العكس فى إستهلاك القوى. وهذه النوعية من المعجلات العملاقة ليست إلا أدوات تستخدم للمعرفة الحقيقية لتركيب نواة الذرة، ومن ثم فهى بغرض عمل تجارب على درجة عالية من الدقة حول تجميع المعلومات عن القوى النووية - وعليه فيتوقع أن نتائج هذه الأبحاث والتجارب والفحوصات سوف تلقى بعض الضوء على المشكلة الأساسية لتركيب النواة، كما يتوقع أيضاً أنها ستساعد فى حل أكبر مشاكل المستقبل وهى إنتاج الطاقة وبالتحديد فى مجال تنظيم عملية التحكم فى سلسلة التفاعلات النووية الحرارية.

الفصل الثالث

مكونات نواة الذرة

لاشك أن مكونات نواة الذرة لقيت العديد من الأبحاث والدراسات منذ بداية التفكير في الذرة ولا زالت الشغل الشاغل للعديد بل جميع علماء وخبراء الفيزياء النووية. في الواقع أن الأفكار الحديثة للمكونات الداخلية لنواة الذرة يرجع أساساً إلى الإكتشافات الهامة جداً التي قام بها جيمس تشادويك العالم الإنجليزي في كامبريدج بإنجلترا.

فبالتحليل الدقيق لنتائج تجارب الرواد الأول مثل بوث وبيكير في ألمانيا وأيضاً جوايوت وكورى في فرنسا، وجد جيمس تشادويك أن هذه التجارب من الممكن توضيحها وذلك بإفترض [لقد اقترح رذفورد ذلك على سبيل التجربة منذ زمن بعيد] وجود جزيء عنصر كتلته شبه مساوية لكتلة البروتون [البروتون هو ذرة الهيدروجين] ولكن شحنته تساوى صفراً - وهذا الجسم المتعادل الشحنة يسمى نيوترون والذي يعد الآن الأساس في جميع العمليات النووية حيث أنه يستخدم في إستخراج الطاقة النووية، بالإضافة إلى ذلك يعتبر الحجر الأساسى في جميع التفاعلات النووية. وعلاوة على ما سبق وإستناداً إلى معلوماتنا الحالية فإننا نجد أن نويات جميع العناصر تتكون من جسيمين رئيسيين هما البروتون والنيوترون. في الحقيقة أن عالم الفيزياء الإنجليزي بروت [١٧٨٥ - ١٨٥٠] اقترح ذلك من قبل ولكن بطريقة مختلفة قليلاً.

فقد إقترح بروت أن جميع الذرات ما هي إلا مجاميع لذرات الهيدروجين [بالطبع ذرة الهيدروجين ما هي إلا بروتون] - ومن ثم فقد تبين بعد ذلك أن النواة تتكون من مجموع البروتونات والنيوترونات. ولقد كانت الفكرة الأساسية للعالم بورت تتركز حول أن الأعداد الكلية التي تحدد الأوزان الذرية للعديد من العناصر من الممكن توضيحها عن طريق مكوناتها وهي الخاصة بالجسيمات الأولية المتساوية الشحنة والتي قد تم التأكد منها بعد ذلك بحوالى أكثر من ١٠٠ عام على نشر أفكار بورت الإنجليزي. وبالنسبة لمكونات النواة فيمكن معرفة عددها من الأتى :

فى حالة الرمز إلى الشحنة النووية (العدد الذرى) بالحرف أ، وعدد الكتلة بالرمز ب (عدد الكتلة هو الوزن الذرى)، وعليه فإن مكونات الذرة من النيوترونات ستكون عبارة عن ب - أ، وهنا أ تعنى عدد البروتونات، ب تعنى كتلة الذرة، ولقد أطلق على البروتون والنيوترون اللذين يكونان النواة إسم النيوكلون. بالإضافة إلى ما سبق فإن أحجام النيوكلونات وأيضاً الالكترونات صغيرة للغاية حيث يبلغ قطر كل منها حوالى 10^{-13} سم. كما أن ذرة النظير الأساسى للهيدروجين [الهيدروجين الخفيف] تتكون فى أبسط صورها من بروتون كنواة والكترون يدور فى مسار دائرى حول البروتون بحيث يصل قطر هذا المدار إلى 10^{-8} سم [مع ملاحظة أن هذا القطر يبلغ ما بين ١٠ ألف إلى ١٠٠ ألف ضعف قطر النواة نفسها].

أما بخصوص ذرات الهيدروجين الثقيل [الديوتيريم فهي تتكون من ديوتيريم وواحد الكترون يدور في مدارها [الديوتيريم] عبارة عن ١ بروتون + ١ نيوترون]. لكن نواة ذرة الهليوم العادية [دقيقة ألفا] تختلف عن سابقتها فعدد كتلتها ٤ وتتكون من ٢ بروتون + ٢ نيوترون، أما ذرة الهليوم الكاملة المتعادلة الشحنة فهي تتكون من نفس نواة ذرة الهليوم بالإضافة إلى ٢ الكترون يدوران حول النواة.

ولزيادة في الإيضاح فإن الجدول التالي يفسر مكونات النويات لبعض العناصر، ويحتوى الجدول على القليل من النظائر، وهنا نود أن نشير إلى أن بعض العناصر مثل الكربون والباريوم والراديوم وغيرها تملك العديد من النظائر غير التي موجودة في الجدول - ويعتقد أن عدد النظائر المعروفة حتى الآن تصل إلى أكثر من ١٠٠٠ نظير.

الرمز	العنصر	عدد كل من	
		بروتون	نيوترون
${}^3_2\text{He}$	هيليوم	٢	١
${}^4_2\text{He}$		٢	٢
${}^6_3\text{Li}$	ليثيوم	٣	٣
${}^7_3\text{Li}$		٣	٤
${}^{12}_6\text{C}$	كربون	٦	٦
${}^{13}_6\text{C}$		٦	٧
${}^{136}_{56}\text{B}$	باريوم	٥٦	٨٠
${}^{138}_{56}\text{B}$		٥٦	٨٢

الرمز	العنصر	عدد كل من	
		بروتون	نيوترون
$^{226}\text{Ra}_{88}$	راديوم	٨٨	١٣٨
$^{230}\text{Th}_{90}$	ثوريوم	٩٠	١٤٠
$^{232}\text{Th}_{90}$		٩٠	١٤٢
$^{235}\text{U}_{92}$		٩٢	١٤٣
$^{238}\text{U}_{92}$	يورانيوم	٩٢	١٤٦
$^{239}\text{U}_{92}$		٩٢	١٤٧
$^{239}\text{Np}_{93}$		٩٣	١٤٦
$^{239}\text{Pu}_{94}$	بلوتونيوم	٩٤	١٤٥

[لمزيد من المعلومات أنظر الملاحق الخاصة بالعناصر ونظائرها]

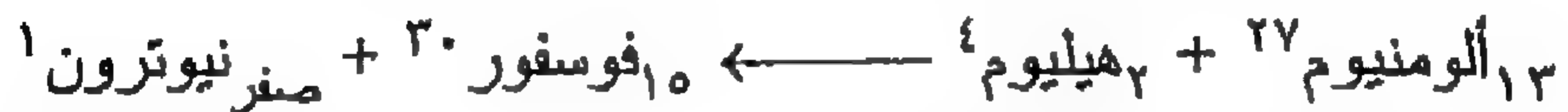
وبالرجوع مرة ثانية إلى النظائر فإننا نجد أنه إستناداً إلى المصطلحات التي تم إقتراحها في الولايات المتحدة الأمريكية في عام ١٩٤٧م فإن مصطلح نظير يعنى أو يشير إلى أعضاء عائلة الذرات المختلفة ذات الأعداد الذرية المتساوية والتي تتبع نفس العنصر، وبصورة أوضح نجد أن النظير ما هو إلا واحد من ذرتين أو أكثر لها نفس العدد الذرى أى أنها من نفس العنصر الكيماوى ولكنها ذات أوزان ذرية مختلفة، ويلاحظ أن أنوية النظائر تحتوى على نفس العدد من البروتونات ولكن بها أعداد مختلفة من النيوترونات - وإذا نظرنا إلى نظائر عنصر الكربون

والتي هي $^{12}_6\text{C}$ ، $^{13}_6\text{C}$ ، $^{14}_6\text{C}$ فإننا نجد أن الأرقام الموجودة أسفل الرمز تدل على الأعداد الذرية المشتركة، كما أن الأرقام الموجودة أعلى الرمز تدل على الأعداد النووية المختلفة أو مجموع البروتونات والنيوترونات، وبالإضافة إلى ما سبق فإن النظائر لها نفس الخواص الكيميائية ولكنها ذات خواص طبيعية مختلفة. وبالإضافة إلى ما سبق نجد أن الهيدروجين العادي والديوتيريوم هما إلا نظائر وأيضاً الراديوم G والرصاص، ومصطلح نظير الذي يطلق على جميع أنواع الذرات ذات الأوزان الذرية المختلفة والأعداد الذرية المختلفة هو عبارة عن النيوكليدات التي أشرنا إليها قبلاً والتي يوجد منها ٢٧٤ نيوكليد في حالة مستقرة وتم الإقرار بهم من قبل العلماء، كما يوجد أيضاً ٥٣ نيوكليد مشع والذين هم مثل نظائر اليورانيوم والثوريوم والسلاسل التابعة لهم. ولقد وجد أن أكبر العائلات بين العناصر الثابتة هي القصدير ونظائره العشرة وأيضاً النيون ونظائره التسعة. أما الذهب فهو وحيد وله نظير واحد فقط ثابت. ويبدو أن مصطلح نيوكليدات لم يعترف به بصفة عامة، ومن ثم فلازال مصطلح نظير أكثر إنتشاراً وإستعمالاً في أوروبا عنها في الولايات المتحدة الأمريكية.

النظائر المشعة :

في الواقع أن الغالبية العظمى من النظائر التي قامت عليها الأبحاث خلال العقدين الماضيين ليس لها وجود في الطبيعة على الإطلاق وذلك لأنه تم تخليقها صناعياً عن طريق المعالجات النووية وذلك بتغيير

مكونات النويات - ومن ثم فإنه يتضح لنا أن هذه النظائر ليست عناصر ثابتة وذلك لأنها تختفى بعد فترة من وجودها بواسطة الانحلال الإشعاعي الذى بالتبعية يعمل على تحويلها إلى نظائر أخرى ربما تكون مشعة أو مستقرة. ولقد تم الإكتشاف الهام للنشاط الإشعاعي الصناعى على يد جوليوت - كورى وإيرين فى عام ١٩٣٤م وذلك عندما وجد أنه عند قذف نواة الألومنيوم ذات العدد الذرى ١٨ والوزن الذرى ٢٧ بإشعاعات ألفا فإن نواة الألومنيوم تمتص دقيقة ألفا وتخرج نيوترون ثم تتحول بعد ذلك إلى نواة مشعة يطلق عليها نظير الفوسفور والتى لم تظهر قبل ذلك الوقت فى الطبيعة على الإطلاق - ويتمثل ذلك فى المعادلة التالية :



وعلى النقيض من الفوسفور الطبيعى الذى عدده الذرى ١٥ ووزنه الذرى ٣١ فإن نظير الفوسفور الجديد [لقد أطلق على هذا النظير الجديد لقب طارد دقيقة بيتا الموجبة أو طارد البوزيترون] يصبح غير مستقر وذلك لأنه طرد دقيقة متساوية فى الكتلة مع الالكترن ولكنها موجبة الشحنة ويطلق عليها البوزيترون، وعليه فإن خروج البوزيترون من النواة يعمل على خفض شحنتها بمقدار واحدة بينما عدد الكتلة أو العدد الذرى لم يحدث به أى تغير، ونخرج من هذا بأن النتيجة النهائية لقذف الألومنيوم بإشعاعات ألفا ستؤدى إلى إنتاج نظير السيليكون ذو العدد الذرى ٣٠، وهنا نستطيع أن نقول أن إكتشاف جوليوت يعتبر بحق فاتحة عهد جديد فى دنيا

العلوم النووية والذي كان من نتيجته أن أصبح المجال انوى أكثر أهمية وخصوبة للعديد من العلماء وخبراء الفيزياء والكيمياء النووية.

وبتوالى الدراسات والأبحاث والتجارب التى حدثت فى العقدين الماضيين تم التوصل إلى أنه ليس هناك نظير واحد مشع للفوسفور بل يوجد ٤ نظائر مشعة صناعياً للفوسفور وذات أوزان مختلفة. ولم تتوقف المعالجات النووية على خلق نظائر للعناصر الموجودة فى الطبيعة فقط وهى الـ ٩٢ عنصراً بل تعدتها إلى ما هو أهم وأرقى من ذلك وهو ابتكار عناصر جديدة غير موجودة فى الطبيعة على الإطلاق وهى التى تبدأ من العنصر ذو العدد الذرى ٩٣ وتصل إلى ١٠٤ وربما أكثر من ذلك، ومن بين هذه العناصر الغير موجودة فى الطبيعة [وهى ما يطلق عليها عناصر عبر اليورانيوم التى أشرنا إليها قبلاً] يوجد عنصر البلوتونيوم ٩٤ الشهير بنتائجه المحزنة والذي إستخدم فى صنع القنابل النووية بواسطة الأمريكان لتدمير مدينتى هيروشيما ونجازاكي فى نهاية الحرب العالمية الثانية [بالنسبة لقنبلة هيروشيما فقد راح ضحيتها ٧٠ ألف شخص وإصابة ٧٠ ألف آخرين مع تدمير مساحة أرضية تقدر بحوالى ٤,٧ ميل مربع أما قنبلة نجازاكي فقد بلغ عدد قتلاها ٣٦ ألف شخص وإصابة ٤٠ ألف آخرين مع تدمير مساحة أرضية تقدر بحوالى ١,٨ ميل مربع].

ولكن فضلاً عن الإنشطار النووى وما أحدثه من أضرار بالغة على مدينتى هيروشيما ونجازاكي اليابانية فإننا نجد أن النظائر المشعة

صناعياً سواء الخفيفة أو المتوسطة الوزن والتي أطلق عليها " نظائر مشعة
" برهنت على أنها مواد ذات أهمية كبيرة ومتعددة المزايا في إستعمالاتها.
وفي هذا الصدد يقول "جوردون دين" أحد رؤساء هيئة الطاقة النووية
الأمريكية السابقين في كتابه " تقرير على الذرة " حول موضوع النظائر
المشعة الآتى :

بالفعل، إن النظائر المشعة تشكل ربما أسعد وأهم الفصول في
قصة الذرة وذلك لأنها تستعمل في العلاج المرضى، فهي تعلمنا الكثير عن
الأمراض وتعمل على تحسين وتطوير المعالجات المرضية، كما أنها تزيد
وترفع من الكفاية الإنتاجية للمحاصيل والمواشي، وبالإضافة إلى ذلك
تساعد الإنسان على المعرفة الأساسية للمعالجات الجسدية والأشياء الحية
المحيطة به وأيضاً الطبيعات الموجودة في العالم.

ومادمننا بصدد موضوع النظائر المشعة لذا فنود أن نشير إلى أنه
يوجد بعض النظائر المشعة والتي هي عبارة عن بواعث بيتا السالبة مثل
التي توجد في عائلات العناصر الطبيعية المشعة والتي تتحلل بخروج
الكترونات من النواة. والبعض الآخر عبارة عن بواعث البوزيترون والتي
منها على سبيل المثال الفوسفور المشع (^{30}P) والذي يعد أول
نظير تم ملاحظته في تاريخ البشرية وهنا قد يتسائل البعض : كيف يتم
خروج الالكترونات من النواة في الوقت الذي عرفنا فيه من قبل أن النواة

تتكون من بروتون ونيوترون وليس الكترون. والإجابة على هذا التساؤل تتمثل فى الآتى:

أولاً وقبل كل شىء نود أن نعرف مفهوم الجسيمات الأولية فى الذرة: وهى عبارة عن جسيمات تتكون منها كل المواد والإشعاع، وجميعها عدا البروتونات والالكترونات ذات حياة قصيرة ولا توجد مستقلة فى الظروف العادية، وهى ذات حجم أقل من حجم الذرة ولقد كانت هذه التسمية تطلق على أية جسيمات لايمكن إنقسامها أكثر من ذلك ولكنها بعد ذلك أطلقت على النيوكلونات التى هى عبارة عن البروتونات والنيوترونات وأيضاً تطلق على الالكترونات والميزونات والجسيمات المضادة - ولكن ليس على دقائق ألفا أو على الديوترونات. والآن نعود إلى الإجابة على السؤال السابق - كما أشرنا من قبل أن هناك من الأسباب التى تفترض أن الجسيمات الأولية [البروتون والنيوترون] ليست دائماً غير متغيرة - ولكن ثبت أنه من الممكن تحويلها إلى جسيمات أخرى تختلف عن الأصل. وأحد هذه العمليات هى تحويل النيوترون إلى بروتون والكترون ويتضح ذلك من خلال المعادلة التالية :



أى أنه نتيجة التحلل الإشعاعى الذى يصاحبه إنبعاث أشعة بيتا السالبة فإننا نجد أن شحنة المادة الجديدة ستزيد بوحدة شحنة عن المادة الأصلية - بينما يبقى عدد الكتلة كما هو، وعليه فإن العدد الذرى يزداد

بوحدة واحدة وهى البروتون بينما يخرج الالكترون وبالتالي يقل عدد النيوترونات فى النواة ويزيد عددها بمقدار واحد بروتون أما عدد الكتلة فهو ثابت. ولكن فى حالة خروج أشعة بيتا الموجبة والتى يطلق عليها البوزيترونات فإن ما يحدث هو العكس أى أن نواة المادة الجديدة يزيد فيها عدد النيوترونات ويقل عدد البروتونات عن النواة الأصلية المشعة بواحد - ويحدث ذلك بسبب تحول أحد البروتونات الموجودة فى النواة الأصلية إلى نيوترون وخروج الكترون موجب - ويتضح ذلك من المعادلة التالية :



مما سبق يتضح لنا أن أية معالجة من هذا القبيل تأخذ مكاناً فى النواة فإنها تعمل على تغيير شحنتها ومن ثم يتم تحويلها إلى ذرة عنصر آخر يختلف عن الأصل.

الطاقة الناتجة عن الإشطار :

لاشك أن الإشطار النووى الناتج عن التحولات النووية كان حدث جديد وغير متوقع لدى العلماء والخبراء المتخصصون فى مجال الفيزياء والكيمياء النووية - وذلك عندما ثبت أن عملية الإشطار النووى يصحبها خروج كميات هائلة من الطاقة المتحررة. فلقد تبين للعلماء من خلال التجارب التى تمت فى عام ١٩٣٩م أن كمية الطاقة التى خرجت نتيجة الإشطار النووى تقدر بحوالى ٢٢,٢ مليون الكترون فولت.

ولكن هذه الكمية لم تتوقف عند هذا الحد بل زادت كثيراً نتيجة لإجراء التجارب العديدة على العناصر الأثقل وزناً - فقد حصل فريش وميتير والآخرين من العلماء على طاقة نووية متحررة نتيجة الإنشطار النووي تقدر بحوالى ٢٠٠ مليون إلكترون فولت من ذرة اليورانيوم عند قذفها بالنيوترونات. كما توصل العلماء أيضاً إلى أن هذه الطاقة المتحررة تتوقف على كتلة الذرة من حيث كبرها وصغرها وأيضاً على تفاعل الجسيمات أو الدقائق التى تقذف بها الذرة وبالتالى على النواتج النهائية لعملية الإنشطار. ولقد تبين من خلال ذلك أن هناك علاقة بين الطاقة الناتجة عن الإنشطار النووي وكتلة الذرة قبل قذفها بالجسيمات ونواتج الإنشطار النهائى. ويتضح ذلك من خلال نتائج القياسات الدقيقة لكتل الذرات التى تؤكد أن كتلة النواة كوحدة متكاملة أقل من مجموع كتل مكوناتها منفردة، ويبين ذلك نواة ذرة الهليوم التى تتكون من ٢ بروتون + ٢ نيوترون، وهنا إذا حصلنا على كتلة المكونات لنواة الهليوم فهى كالتى

$$= 1,00759 \times 2 + 1,00898 \times 2 = 4,03314 \text{ وحدة كتلة ذرية.}$$

بينما كتلة نواة الهليوم كوحدة واحدة فقط $= 4,0077$ وحدة كتلة

ذرية* - نخرج من هذا بأن هناك نقص فى الكتلة يقدر بحوالى

$$= 4,03314 - 4,00777 = 0,02537 \text{ وحدة كتلة ذرية.}$$

* فى الواقع أنه نظراً لصغر كتلة الذرات إذا ما قدرت بالجرام فقد إتفق على إستخدام وحدة أخرى مناسبة لتقدير كتلة الذرات تعرف بإسم وحدة الكتلة الذرية والتى يرمز لها بالرمز

وهذا النقص فى الكتلة يكافئة كمية من الطاقة = $0.00037 \times$

$931,5 = 28,2$ مليون الكترون فولت [مع ملاحظة أنه تم إهمال كتل
الالكترونات فى الذرة لصغرها الشديد بالنسبة لكتلة البروتونات
والنيوترونات].

أى أن تكوين نواة ذرة الهليوم من اتحاد إثنين من البروتونات مع
إثنين من النيوترونات ينتج عنه خروج كمية من الطاقة تبلغ $28,2$ مليون
الالكترون فولت، وهذه الطاقة تساوى أيضاً الشغل اللازم بذله لتفتت نواة

A.M.U. أى Atomic Mass Unit - وتعرف وحدة الكتلة الذرية بأنها $1:12$ من كتلة
ذرة الكربون ذو العدد الذرى 6 والوزن الذرى 12، وحيث أن الوزن الذرى الجرامى لآى
عنصر معبراً عنه بالجرامات يحتوى على 6.023×10^{23} ذرة [وهذا ما يعرف بعدد
أفوجادرو] فإن كتلة ذرة الكربون $12 \div 6.023 \times 10^{23} \text{ جم}$ وعليه فإن وحدة الكتلة
الذرية.

$$= 1.66 \times 10^{-24} \text{ جم}$$

$$= 1.66 \times 10^{-27} \text{ كجم}$$

وبما أن الفيزياء النووية تعتمد على تقدير كتل الذرات بالوحدات التى تستخدم فى
قياس الطاقة، وهذا راجع لنظرية النسبية التى تؤيد أن أى كمية من الكتلة يمكن أن تتحول
إلى كمية من الطاقة المكافئة لها، وهى تقدر بحاصل ضرب الكتلة \times مربع سرعة الضوء -
وحيث أن سرعة الضوء $= 3 \times 10^8 \text{ م/ثانية}$

$$= 1.66 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2 \text{ كجم} \cdot \text{م}^2 / \text{ثانية}^2$$

$$= 1.494 \times 10^{-11} \text{ جول}$$

$$= 931,5 \text{ مليون الكترون فولت}$$

$$\text{حيث أن المليون الكترون فولت} = 1.602 \times 10^{-13} \text{ جول}$$

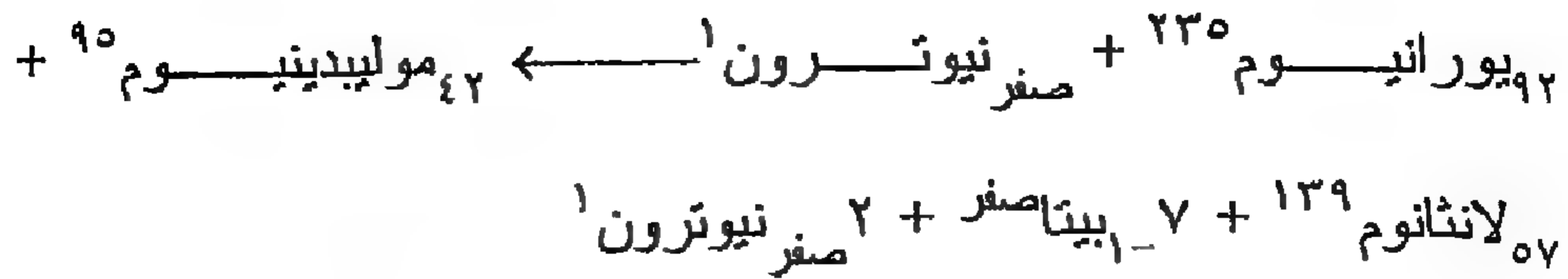
أى أن الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية $= 931,5$ مليون الكترون فولت.

ذرة الهليوم للحصول على ٢ بروتون و ٢ نيوترون، ويطلق على كمية الطاقة المكافئة للنقص في الكتلة بطاقة الترابط النووي (سنتحدث عنها بالتفصيل فيما بعد). أما بالنسبة لنواة ذرة اليورانيوم فلقد تبين أيضاً أن كتلة نواتج الإنشطار النووي لنواة اليورانيوم أكبر من كتلة نواة اليورانيوم الأصلية كوحدة قبل الإنشطار، ولقد تبين ذلك من الآتى :

أنه نتيجة قذف نواة ذرة اليورانيوم ٢٣٥ بالنيوترون فإنها تنقسم في صور عديدة، ومن ثم فإن النويّتان الناتجتان عن الإنشطار النووي بواسطة النيوترون البطيء وجد أن عدد كتلتاهما على الترتيب ٩٥، ١٣٩. ولقد تم تفسير ذلك بأن النواتج المبدئية للإنشطار النووي تكون مشعة ثم تمر بعدة مراحل تتحل منها دقائق بيتا سالبة والتي تقدر في مجموعها بسبعة ٧ دقائق سالبة (الكترونات) عندئذ يكون قد تم تكوين النيوكليدات* الثابتة وهى عنصرى الموليبدينيوم ٩٥ واللاتانيوم ١٣٩. ويمكن توضيح ذلك من خلال المعادلة التالية :

* نيوكليدات :

وهى تطلق على كل الصور الذرية للعناصر، وأحياناً ما يستعمل على أنه مرادف لإصطلاح نظير - ونظراً لأن النظائر هى أشكال متنوعة من عنصر واحد فتكون بذلك عبارة عن عائلة من النيوكليدات وكلها ذات عدد ذرى واحد وبها نفس العدد من البروتونات. وتشمل النيوكليدات على صور النظائر لكل عنصر - كما أنها تتميز عن بعضها البعض من حيث العدد الذرى والعدد الوزنى وأيضاً حالة الطاقة.



وقد لوحظ من المعادلة السابقة أن بعض النيوترونات دائماً تتحرر في مراحل الانشطار، ومن ثم فيطلب توازن النيوكلون أن يصبح إثنين من حيث العدد [أى ٢ نيوترون] وبالإضافة إلى ما تقدم نرى الآتى :

أن كتلة نواة اليورانيوم ٢٣٥ كوحدة هي ٢٣٥,٠٤٣٩ وحدة كتلة ذرية. وكتلة النيوترون الذى إخترقها هي ١,٠٠٨٧ وحدة كتلة ذرية. إذن فإن مجموع الكتلتين قبل الانشطار

$$235.0439 + 1.0087 = 236.0526 \text{ وحدة كتلة ذرية.}$$

وقد لوحظ من المعادلة السابقة أن بعض النيوترونات دائماً تتحرر في مراحل الانشطار، ومن ثم فيطلب توازن النيوكلون أن يصبح اثنين من حيث العدد [أى ٢ نيوترون].

وبالإضافة إلى ما تقدم نرى الآتى :

إن كتلة نواة اليورانيوم ٢٣٥ كوحدة هي ٢٣٥,٠٤٣٩ وحدة كتلة ذرية. وكتلة النيوترون التى إخترقها هي ١,٠٠٨٧ وحدة كتلة ذرية .

إذن فإن مجموع الكتلتين قبل الانشطار = ٢٣٥,٠٤٣٩ + ١,٠٠٨٧ = ٢٣٦,٠٥٢٦ وحدة كتلة ذرية.

أما نواتج الانشطار النووى وهى الموليبدنيوم ٩٥، التانتالم ١٣٩، بيتا والنيوترون. فإن كتلتهم على التوالى هي ٩٤,٩٠٥٨ وحدة كتلة ذرية،

١٣٨,٩٠٦١ وحدة كتلة ذرية ثم بيتا السالبة (الالكترون) ٠,٠٠٥٥, وحدة كتلة ذرية و النيوترون ١,٠٠٨٧ إذن فالمجموع الكلى للكتل بعد التفاعل هي :

$$١,٠٠٨٧ \times ٢ + ٠,٠٠٠٥٥ \times ٧ + ١٣٨,٩٠٦١ + ٩٤,٩٠٥٨ =$$

$$= ٢٣٥,٨٣٣١ وحدة كتلة ذرية$$

النقص فى الكتلة قبل و بعد التفاعل =

$$٢٣٦,٠٥٢٦ - ٢٣٥,٨٣٣٢ = ٠,٢١٩٤ وحدة كتلة ذرية$$

و عند الحصول على طاقة هذه الكتلة لابد من ضربها فى ٩٣١ كما اشرنا من قبل أى أن النقص فى الكتلة يكافىء كمية من الطاقة = $٠,٢١٩٤ \times ٩٣١ = ٢٠٤$ مليون فولت تقريبا وهى الطاقة التى خرجت نتيجة للتفاعل أو الانشطار النووى. وتسمى هذه الطاقة بطاقة الترابط الناتجة عن الانشطار النووى، وتعرف طاقة الترابط النووى بأنها تلك الطاقة التى تربط مكونات النواة ببعضها وهى أيضا الطاقة التى تتطلق عندما تتحطم النواة فى التفاعلات النووية ولكنها تختلف من حيث الكمية. ولقد لوحظ أيضا أن مجموع الكتل للجسيمات المكونة للنواة يكون أكبر من الكتلة الفعلية لنواة العنصر [ويلاحظ ذلك من خلال مثال نواة اليورانيوم حيث أن الكتلة الفعلية لنواة اليورانيوم كوحدة هى ٢٣٥,٠٤٣٩ بينما كتل نواتجها بعد الانشطار هى ٨٣٣٢,٢٣٥ وحدة كتلة ذرية] حيث يتحول هذا النقص فى الكتلة إلى طاقة ترابط تعمل على ربط مكونات النواة، كما لوحظ أيضا أنه كلما كبت طاقة الترابط هذه كلما كانت درجة ثبات النواة كبيرة.

وببساطة شديدة يمكننا حساب طاقة الترابط النووي كالآتي :

حيث أننا نعرف أن مجموع كتل مكونات النواة تساوى عدد البروتونات مضروباً في كتلة البروتون مضافاً إليها عدد النيوترونات مضروباً في كتلة النيوترون مضافاً إليها عدد الإلكترونات [بيتا السالبة] مضروباً في كتلة الإلكترون، وبما أن النقص في الكتلة يساوى مجموع كتل المكونات السابقة مطروحاً منها الكتلة الفعلية للذرة، ومن ثم فإن طاقة الترابط النووي تساوى النقص في الكتلة [وحدة كتلة ذرية] مضروباً في ٩٣١ "وهذه هي صورة مبسطة لمعرفة طاقة الترابط"، وتقدر طاقة الروابط للنيوكليونات في نواة اليورانيوم ٢٣٨ ونظيره ٢٣٥ بحوالى ٧,٦ مليون إلكترون فولت. أما في النوية العناصر الثابتة فإنها [أى طاقة الترابط] تصل إلى ٨,٥ مليون إلكترون فولت للنيوكليونات، ولكن بالنسبة لنواة اليورانيوم ٢٣٦ المركبة من جزيئات من النيوكليونات فقد وجد أن مجموع طاقة ترابطها تقدر بحوالى $٢٣٦ \times ٧,٦$ مليون إلكترون فولت، بينما في نواتج الانشطار النووي تصل إلى $٢٣٦ \times ٨,٥$ مليون إلكترون فولت.

ويتضح ذلك من خلال المعادلتين التاليتين :

$$(١) \quad ٩٢ \text{ بروتون} + ١٤٤ \text{ نيوترون} \leftarrow \text{يورانيوم } ٢٣٦ \text{ [مركب النواة]} + ٢٣٦ \times ٧,٦ \text{ مليون إلكترون فولت} .$$

$$(٢) \quad ٩٢ \text{ بروتون} + ١٤٤ \text{ نيوترون} \leftarrow \text{إنشطار الجسيم الناتج} + ٢٣٦ \times ٨,٥ \text{ مليون إلكترون فولت} .$$

وعند طرح المعادلة الأولى من الثانية يتضح أن المنتجات المنشطرة من اليورانيوم يصاحبها طاقة تقدر بحوالى $٢٣٦ \times (٨,٥ - ٧,٦) = ٢٣٦ \times ٠,٩ = ٢١٢,٤$ مليون إلكترون فولت.

وهنا قد يتسائل البعض السؤال التالي :

ما هو السبب الرئيسى فى أن تكوين نواة اليورانيوم من الجسيمات المنشطرة أو الناتجة منها تؤدي إلى تحرير طاقة [يلاحظ هنا أنه فى حالة الانشطار تكون طاقة ترابط النيوكليون أكبر منها فى حالة تكوينها].
والأجابة على هذا التساؤل تظهر فى تعليل أن طاقة الترابط ليست فى الواقع طاقة تمتلكها النواة ولكنها طاقة تتحرر من مكونات النواة الخاصة بالنيوترونات والبروتونات ومن ثم فهى تتناسب مع الطاقة اللازمة لشطر النواة إلى جزئين من النيوكليونات .

بالإضافة إلى ماسبق يبدو أن تحرير الطاقة الناتجة عن الانشطار تتعلل بأن طاقة الترابط فى النيكليون لعنصر اليورانيوم الثقيل تكون أقل من حيث الكمية عند مقارنتها فى عنصر آخر أخف منها فى الوزن - ويرجع

ملحوظة : بالنسبة لنواة أية ذرة فإنه يوجد بداخلها نوعان من القوى تؤثر بين الدقائق المكونة لها وهى :

١- قوى التناثر بين البروتونات الموجبة الشحنة ٢- ثم قوى التجاذب بين مكونات الذرة وهى البروتون والنيوترون كما توجد أيضا بين النيوترون والنيوترون. ويمكن توضيح ذلك إذا اعتبرنا أن كلا من البروتونات والنيوترونات يقضى جزءاً من حياته على صورة بروتون والجزء الآخر على صورة نيوترون وذلك نتيجة لتبادل الميزونات بينهما ويتضح ذلك من خلال المعادلتين:

بروتون ← نيوترون + ميزون موجب [بوزيترون]

بيوترون ← بروتون + ميزون سالب [الكترون]، [والميزون هو عبار عن جسيم خفيف إما أن يحمل شحنة سالبة أو موجبة، وهو يتحلل إذا كان موجبا إلى بوزيترون ونيترينو - إما إذا كان سالبا فيتحلل إلى الكترون ونيوترينو]. وترجع قوى التجاذب داخل النوة إلى تبادل الميزونات بين البروتونات والنيوترونات- ومن ثم تكون قوى التجاذب أكبر من قوى التناثر الراجعة إلى تشابه الشحنات وبذلك تصبح النواة متماسكة.

هذا الانخفاض فى طاقة الترابط إلى النمو السريع فى طاقة التناثر الإستاتيكي الموجودة فى زيادة العدد الذرى. ويتضح من ذلك أنه كلما صغرت طاقة الترابط فى النيوكليون كلما صغر الخلل فى كتلة النواة والعكس الصحيح، ولكن نود أن نوضح هنا أن ضخامة كتلة نواة اليورانيوم (وذلك عند مقارنتها بالجسيم النووى بعد الانشطار) يرجع إلى تأثير النور الأستاتيكي للبروتونات.

فى النهاية : إن المعالجة الفعلية للإنشطار النووى يمكن أن تعطل عن طريق القيمة العالية للقوى النافرة فى الجسيم النووى الثقيل هذا بالإضافة إلى أنها مسئولة أيضا عن الانشطار وخروج الطاقة المصاحبة للتفاعلات النووية. فى الحقيقة أن تقديرات طاقة الترابط النووى ليست على درجة عالية من الدقة وذلك لأنها ليست ثابتة فى جميع الحالات، ومن ثم فهى تؤخذ بالتقريب وهذا راجع إلى عدم التأكد الكامل من النويات المتكونة بعد عملية الإنشطار النووى. بالإضافة إلى ماسبق فإنه يوجد بالفعل أكثر من ٤٠ نوعاً مختلفة فى طرق الإنشطار النووى ووزن الكتلة وأيضاً الطاقة المتحررة ومن ثم فهى ليست بالطبع متشابهة فى كل الحالات، ولكن فى الحقيقة هذه الاختلافات ليست كبيرة ولهذا فقد تم التوصل إلى إتفاق وسط والذى يتمثل فى أن طاقة الإنشطار النووى لليورانيوم ٢٣٥ هى أقرب ما يكون إلى ٢٠٠ مليون إلكترون فولت. وهنا نود أن نشير إلى أن أول محاولة لقياس الطاقة الناتجة عن الإنشطار بطريقة مباشرة تمت فى عام ١٩٣٩م على يد جينتشك وبرانكل من ألمانيا وأيضاً بوث ودائنينج وسلاك من الولايات المتحدة الأمريكية - ولقد قدرت طاقة الكينتيك للجزيئات المنشطرة على أساس مدى التأين الناتج. ولقد تبين أن الطاقة الناتجة ليست

موحدة بل تتكون من مجموعتين متباينتين شبه متساويتين وتحتوى كل مجموعة على عدد من الجسيمات - وعليه تم التوصل إلى مقادير الطاقة المتوسطة فى كل مجموعة قبلت فى الأولى ٧٠ مليون الكترون فولت وبلغت فى المجموعة الثانية حوالى ١٠٠ مليون الكترون فولت - أى بإجمالى ١٧٠ مليون الكترون فولت. إلا أن الدراسات التى قامت بعد ذلك والتى أقيمت على أساس مقاييس التأين ومعدل سرعة الجسيم المكون من الانشطار النووى أثبتت أن طاقة الكينتيك فى الجسيمات المنشطرة من ذرة اليورانيوم ٢٣٥ عن طريق قذفها بالنيوترون البطيء هى ١٦٧ مليون الكترون فولت أى أنها فى المجموعة الأولى ٦٨ والثانية ٩٩ مليون الكترون فولت . وعلاوة على ما تقدم فقد وجد أن المقاييس الكالوريمترية لتحرير الطاقة فى صورة حرارية عند قذف نواة اليورانيوم بالنيوترون والتى تمت فى عام ١٩٣٩ على يد هندرسن من الولايات المتحدة الأمريكية تعطى طاقة تعادل ١٧٥ مليون الكترون فولت. إلا أن هناك تجارب قد تمت بعد ذلك وأحدث من سابقتها استخدمت فيها طاقة الكينتيك للشظايا المنشطرة أثبتت أن الطاقة الناتجة تعادل ١٦٧ مليون الكترون فولت - أى بفارق ٣٣ مليون الكترون فولت بينها وبين الطاقة التى قدرت قبلا بحوالى ٢٠٠ مليون الكترون فولت نتيجة إنشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ والتى اتفق عليها العلماء. ويعل ذلك بأن الـ ٣٣ مليون الكترون فولت ما هى إلا مجموع حاصل الطاقة الناتجة عن اشعاعات جاما والنيوترون المصاحب لعملية الانشطار بالإضافة إلى دقائق بيتا وأيضاً فوتونات* أشعة جاما والنيوترينو

* الفوتون : هو عبارة عن حامل لوحدة الكم من الطاقة الكهرومغناطيسية - والفوتونات عزم قصور فعال ولكنها عديمة الوزن أو الشحنة الكهربائية.

المتحرر نتيجة الإتحلال الإشعاعى لانشطار الجسيمات الناتجة من النشطار النووى. نخرج من هذا بالآتى :

أن الطاقة الناتجة من عملية الانشطار تظهر فى أشكال عديدة مختلفة وأهم هذه الأشكال هى طاقة الكينتيك للشظايا المنشطرة والطاقة الإشعاعية المنحلة لنواتج الانشطار النووى بالإضافة إلى النيوترونات وإشعاعات جاما التى تتحرر فور الانشطار النووى حاملة كميات محسوسة من الطاقة . ويمكن توضيح توزيع هذه الطاقة كالاتى وذلك عند قذف نواة اليورانيوم ٢٣٥ بالنيوترون البطيء :

١-	طاقة الكينتيك للشظايا المنشطرة	١٦٧	مليون الكترون فولت
٢-	طاقة النيوترونات الناتجة عن الإنشطار	٥	مليون الكترون فولت
٣-	إشعاعات جاما الفورية	٧	مليون الكترون فولت
٤-	دقائق بيتا الناتجة من الانشطار النووى	٧	مليون الكترون فولت
٥-	إشعاعات جاما الناتجة من الانشطار النووى	٦	مليون الكترون فولت
٦-	النيوترينو الناتج عن الانشطار النووى	١١	مليون الكترون فولت
المجموع الكلى		٢٠٣	مليون الكترون فولت

مما سبق يتضح لنا أن مجموع الطاقة الكلية الناتجة عن الانشطار النووى لذرة اليورانيوم ٢٣٥ تعادل ٢٠٣ مليون الكترون فولت - إلا أنه يجب ملاحظة أن عدد النيوترينو ودقائق بيتا وإشعاعات جاما يتم امتصاصها بعد فترة من الوقت ومن ثم فإن الطاقة التى يحملونها تظهر فى صورة حرارة .

نوعية الكتل الناتجة عن الانشطار النووي :

يتبين لنا مما سبق أن طاقات الكينتيك للدقائق المنشطرة تتركز في مجموعتين غير متساويتين في الكتلة والخصائص الكيميائية، ويرجع السبب في ذلك إلى أن معدل الطاقة بين المجموعة الأولى والثانية يقدر بنسبة ١:٥ [حسب نتائج عام ١٩٣٩]، ولقد عرفت المجموعة الأولى بعنصر الكريبتون ذو العدد ٩٠ للكتلة، والمجموعة الثانية وهي عنصر الإكسينون وعدد كتلته ١٤٠، وبالعودة لعام ١٩٣٩م فقد وجد أنه من الضروري الحصول على المعلومات الدقيقة الخاصة بنواتج الانشطار وما يصاحبها من طاقة ، وعليه فقد تمت دراسات وأبحاث مكثفة بغرض المعرفة الحقيقية لهذه النتائج ولكننا هنا سنكتفي بإلقاء بعض الضوء حول بعض النتائج . فإذا أخذنا في الاعتبار المعلومات المتعلقة بانشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ نتيجة قذفها بنيوترون حراري (بطيء) وأيضاً نيوترون سريع بطاقة تقدر بحوالي ١٤ مليون إلكترون فولت فإننا نجد أن عدد الكتلة الناتج قد تم تحديده على أساس نواتج الانشطار وما صاحبها من طاقة [أي على أساس غلة الانشطار].

[ملحوظة: حيث أننا نعرف أن كل انشطار نووي ينتج عنه نويتان أو كتلتين من ثم فإن الغلة الناتجة عن الانشطار يصبح مجموعها حوالي ٢٠٠٪، ففي كل نيوترون حراري في كل ٤٠٠ حالة إنشطار نووي يوجد ٣ نويات أو كتل في نواتج الانشطار النهائي وهي ما يطلق عليه لفظ الانشطار الثلاثي، وفي الغالبية العظمى لهذه الانشطارات وجد أن النواة أو الكتلة الثالثة عبارة عن دقيقة ألفا أو ذرة هليوم ، ولكن في بعض حالات الانشطار الثلاثي يلاحظ انبعاث التريتون. هذا وتوجد حالة واحدة في كل ١٠٠ ألف حالة انشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ تحتوي على ٤ نويات أو جسيمات متساوية

تقريباً في الكتلة [. وبمتابعة ما تقدم فقد لوحظ أن نواتج الانشطار تغطي سلسلة كبيرة تتراوح ما بين 10^{-4} إلى ٨٪ ومن ثم فقد روعى أن نحدد على أساس النظام اللوغاريتمى لسهولة دراستها . ويجب أن نضع في الاعتبار أن أعداد الكتلة [وليس العدد الذرى] تكون محددة وذلك بسبب أن الشظايا المنشطرة مشعة حيث أنها تتحلل بفقد دقيقة بيتا - بالإضافة إلى ذلك نجد أن الأعداد الذرية تتغير مع الوقت ولكن أعداد الكتلة لم تتأثر على الإطلاق بانحلال دقيقة بيتا . وبدراسة حالة أخرى من حالات انشطار نواة اليورانيوم بنيترون حرارى (بطيء) وجد أن نواتج الانشطار تنقسم إلى كتلتين ذريتين كما لوحظ أيضاً أن أعداد الكتلة تبدأ من ٧٢ وهو نظير الزنك ذو العدد الذرى ٣٠ والكتلة الأخرى هي نظير عنصر التريبيوم الذى عدد كتلته ١٦١ وعدده الذرى ٦٥، ولقد تبين بعد ذلك أن العناصر الموجودة بين هذين النظيرين والتي تقدر بـ ٣٦ عنصر أو نظير يتم إنتاجها جميعاً ومباشرةً عن طريق الانشطار النووى. وعلى الرغم من ذلك فإن دراسة وملاحظة انشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ بصاحبها بعض الصعوبات وذلك لأنه يوجد بها ما يقرب من ٢١٠ نيوكليدات مختلفة متضمنة أيضاً الشظايا المنشطرة ونواتجها من الانحلال الإشعاعى. فى الواقع أن هناك حوالى ٩٧٪ من اليورانيوم ٢٣٥ تعاني انشطار حرارى من أجل الحصول على النواتج المنشطرة والتي تنقسم إلى مجموعتين هما :

المجموعة الحقيقية والتي عدد كتلتها يبدأ من ٨٥ وينتهى بـ ١٠٤، والمجموعة الثقيلة التى يبدأ عدد كتلتها من ١٣٠ وينتهى بـ ١٤٩. ولكن نود أن نشير هنا إلى أن أهم الأنواع المرجحة فى الانشطار النووى والتي تمثل حوالى ٦,٥٪ من المجموع الكلى فى العمليات الانشطارية هي التى تعطى

نواتج بأعداد كتل تقدر في المجموعة الأولى بـ ٩٥ وفي الثانية بـ ١٣٩
[ملحوظة: هناك حالة أخرى يصل فيها عدد الكتلة الثقيلة إلى ١٣٤ وهي
تعتبر حالة خاصة وذلك من حيث ارتفاع نسبة وجودها في حالات
الانشطار التي تصل إلى ٨٪ ويتم ذلك عند قذف نواة اليورانيوم بالنيوترون
البطيء].

مما سبق يتبين لنا أن النتائج الكلية للانشطار النووي المتسببة عن
قذف نواة اليورانيوم ٢٣٥ بالنيوترون الحراري تؤدي إلى الحصول على
كتلتين غير متماثلتين في العدد الذري وأيضاً عدد الكتلة . ولكن هنا إذا
افترضنا أن نواة اليورانيوم انشطرت إلى قسمين متساويتين فإن الكتلة كل
منهما ستكون إما ١١٧ أو ١١٨ وبالتالي فإن فرصة انشطار النواة
بالنيوترونات الحرارية لن تزيد عن ٠,٠١ ٪ . أما بالنسبة لنواة اليورانيوم
التي انشطرت إلى كتلتين هما ٧٢ ، ١٦١ فإننا نجد هنا وجود حوالي ٩٠
عدد كتلة أو نظير تبدأ من النظير ٧٢ حتى تصل إلى النظير ١٦١ ومن ثم
فإن هذه الأعداد المختلفة من الكتل أو النظائر عبارة عن الأعداد المختلفة
للنيوكليدات المتكونة كجسيمات منشطرة، وفي هذه الحالة نجد أن نواة
اليورانيوم تكون قادرة على الانشطار في ٤٥ طريقة مختلفة.

النيوترونات الناتجة عن الانشطار النووي

لقد ذكرنا فيما سبق أن أهم سمات الانشطار النووي هو تحرير النيوترونات المصاحبة لعملية الانشطار ، وعلناً نذكر أنه قد تم التحقيق والتأكد من ذلك على يد جوليوت وفون هالبان وكوارسكي من فرنسا وذلك بعد الإعلان عن نظرية الانشطار النووي بقليل. هذا بالإضافة إلى ما ذكره سميث في تقريره عن " الطاقة النووية للأغراض العسكرية " والذي قال فيه: أنه في الاجتماع الذي عقد في واشنطن د.س. في الفترة من ٢٦ إلى ٢٨ يناير عام ١٩٣٩م قام بوهر وفيرمي بمناقشة قضية الانشطار النووي والتي علق فيها فيرمي حول احتمال خروج النيوترونات أثناء عملية الانشطار، ولكن في الواقع أن أول من ناقش موضوع خروج النيوترونات أثناء عملية الانشطار هو فريش الذي بحث ذلك بدقة مع مدام ميتير ومولير في كوبنهاجن بالدانمارك. وترجع فكرة خروج النيوترونات عن الانشطار وإحصاء عددها الآتي :

نفرض أن نواة اليورانيوم ٢٣٥ انشطرت إلى كتلتين تمثل الأولى عنصر الاسترونشيوم ذو العدد الذري ٣٨ وعدد الكتلة ٩٥ ، وعنصر الاكسينون ذو العدد الذري ٥٤ وعدد الكتلة ١٣٩، وبملاحظة العناصر أو الكتل المنشطرة وجد أن أكبرها ثباتاً يصل عدد كتلته إلى ٨٨ في الكتلة الأولى و ١٣٦ في الثانية، كما لوحظ أيضاً أن أنوية الكتل الناتجة عن الانشطار تحتوي على عدد من النيوترونات بعد أكثر من المسموح به في عملية استقرار النواة ومن ثم فإن طرد وخروج النيوترونات من النواة يعتبر أمر طبيعي. وللحصول على المعرفة الدقيقة لخروج النيوترونات

أثناء الانشطار النووي قام فون هالبان الفرنسي مع زملائه بإجراء تجربته الشهيرة التي تمثلت في وضع مصدر للنيوترونات في منتصف وعاء كبير مع وضع أجهزة كشفية على مسافات مختلفة من المصدر لكي تحدد كثافة أو كمية النيوترونات أثناء وبعد التجربة الموجودة في الوعاء، أما بالنسبة للوعاء فقد وضع داخله أولاً محلول نترات اليورانييل ثم بعد ذلك محلول نترات الأمونيوم وذلك بغرض المقارنة بين المحلولين.

ولقد كانت النتيجة هي امتصاص النيوترونات بواسطة اليورانيوم ولكنها (أي نسبة امتصاص النيوترونات) كانت أكثر في الحالة الثانية عن الأولى. وعلى الرغم من ذلك فقد تبين أن النيوترونات التي نتجت عن الانشطار كانت أكثر من التي تم امتصاصها بالمحاليل. ولقد تبين في النهاية أن لكل ذرة يورانيوم تمر بعملية الانشطار النووي تخرج من ٣ إلى ٤ نيوترونات في المتوسط، ولقد أكد ذلك العلماء الأمريكيين والفرنسيين والألمان . وبالإضافة إلى ما سبق فقد لوحظ أيضاً أن أعداد النيوترونات الخارجة تعتمد في الدرجة الأولى على طريقة وأسلوب الانشطار النووي حيث أن أعدادها يتراوح من لا شيء حتى ٤ أربعة نيوترونات أو أكثر - كما قد تبين أيضاً أن متوسط عدد النيوترونات الخارج ليس بالعدد الصحيح إطلاقاً ويرجع ذلك إلى النتائج التي تمت على انشطار أنوية كل من اليورانيوم ٢٣٥ والبلوتونيوم ٢٣٩ واليورانيوم ٢٣٣ وذلك عند قذفهم بنيوترون حراري (بطيء) حيث أتضح الآتي :

١-	يورانيوم ٢٣٥ عدد النيوترونات في المتوسط	٢,٤٣ نيوترون
٢-	بلوتونيوم ٢٣٩ عدد النيوترونات في المتوسط	٢,٨٩ نيوترون
٣-	يورانيوم ٢٣٣ عدد النيوترونات في المتوسط	٢,٥٠ نيوترون

مما سبق يتضح أن أكبر عدد من النيوترونات ظهر فى إنشطار نواة البلوتونيوم ٢٣٩ عن بقية الانشطارات الأخرى الخاصة باليورانيوم ٢٣٥، ٢٣٣. ويعطى خروج النيوترونات بالآتى :

أن التوزيع المكانى أو الحيزى للنيوترونات المصاحبة للإنشطار النووى تشير إلى أن النيوترونات يتم طردها من الدقائق فور عملية الإنشطار وليس من النواة - وبعبارة أخرى عند إنشطار النواة إلى جزئين يعتقد أن كل جزء يحتوى على عدد من النيوترونات أكثر من اللازم أى أكثر من معدل ثباتها، هذا بالإضافة إلى أن نفس الجزء يحتوى على طاقة كافية تعمل على سهولة خروج هذه النيوترونات الزائدة حتى تصبح كتلة هذا الجزء مستقرة ويتم ذلك بطرد نيوترون أو أكثر وذلك فى خلال ١٠-١٤ من الثانية. أما بخصوص طاقات النيوترونات المنتشرة فإنها تتراوح ما بين جزء من المليون فولت إلى ٨ مليون إلكترون فولت، أما طاقة الغالبية العظمى من النيوترونات فإنها تتراوح ما بين ١ إلى ٢ مليون إلكترون فولت فقط. هذا وفى نفس الوقت وجد أن عدد النيوترونات الخارجة عن الانشطار يتزايد بتزايد طاقة النيوترونات التى تحت على الانشطار ويتضح ذلك من الآتى :

١- فى حالة إستخدام نيوترون ذو طاقة حرارية تقدر بمليون إلكترون فولت لشطر نواة اليورانيوم ٢٣٥ فإن متوسط عدد النيوترونات الناتجة عن الانشطار تقدر ما بين ٢,٤٣ إلى ٢,٥ نيوترون.

٢- أما إذا زادت طاقة النيوترون المقذوف إلى ٧ مليون إلكترون فولت فإن متوسط عدد النيوترونات الناتجة تتراوح ما بين ٣,٤٣ إلى ٢,٥٠.

٣- فى حالة زيادة طاقة النيوترون إلى ١٤ مليون الكترون فولت فإن متوسط عداد النيوترونات الخارجة هى ٤,٥ عن كل أنشطار.

من هذا يتضح أن متوسط عدد النيوترونات يزداد بصفة عامة مع زيادة الكتلة والعدد الذرى للنواة المنشطرة. ولكن الأمر لم يتوقف عند هذا الحد، ففي عام ١٩٥٤م لاحظ فراسير من الولايات المتحدة الأمريكية أن هناك ثمة إختلاف فى عدد النيوترونات الناتج عن الأنشطار وذلك مع عدد الكتلة والذرة للشظية المنشطرة. ففي التجربة التى أجراها فراسير والتى كان الهدف منها هو تحديد متوسط عدد النيوترونات الخارجة عن الأنشطار لاحظ أن هذه النيوترونات تخرج من الشظيتين المنشطرتين فى إتجاهين مختلفين وعليه فقد أقيمت بعد ذلك نفس التجربة وبنفس التكنيك ولكن هذه المرة روعى فيها عمل مقارنة لتوزيع كتلة الدقائق المنشطرة فوراً وذلك قبل خروج النيوترون المقذوف بعد عملية الأنشطار ولقد تبين من هذه التجربة الأتى :

أن عدد النيوترونات الخارجة من الشظايا أو الكتل الخفيفة فى كل مجموعة منشطرة صغير جداً وربما أحياناً لا شىء، إلا أن عدد هذه النيوترونات يزداد مع زيادة عدد الكتلة ويصل إلى أقصاها فى النوية الثقيلة أو الكتلة الثقيلة المنشطرة. كما قد لوحظ شىء هام وهو أن طريقة أو أسلوب الأنشطار لا تلعب دوراً هاماً فى زيادة أعداد النيوترونات الخارجة [ملحوظة : لقد ذكرنا فيما سبق أن طريقة الأنشطار تلعب دوراً هاماً فى زيادة أعداد النيوترونات الخارجة، ولكن تجربة فراسير أثبتت أن هذا ليس شرطاً أساسياً بل مساعداً فقط]. كما شوهد أيضاً فى نفس التجربة أن الشظايا المنشطرة التى لم يخرج منها أية نيوترونات تحتوى المجموعة

الحقيقية منها على ٥٠ نيوترون، وبالنسبة للمجموعة الثقيلة تحتوي على ٥٠ بروتون، وهذه الأعداد تمثل على الترتيب الأغلفة المغلفة للنيوترونات والبروتونات. أما بخصوص عدد النيوترونات المطرودة عن طريق الانشطار والتي تخرج بصورة فورية من الشظية أو الكتلة المنشطرة فهي تعبر مقياساً للطاقة التي تعمل على استثارة أو إثارة هذه النيوترونات المطرودة. من هذا نخرج بأن هناك اختلاف كبير في الطاقة المثارة من الجزئين المنشطرين من النواة وذلك في جميع طرق الانشطار النووي.

ولكن علينا أن نلاحظ شيئاً هاماً وذلك في الانشطارات الأكثر احتمالاً والتي تتراوح فيها الكتل الخفيفة ما بين ٩٠ إلى ١٠٠ وأيضاً الكتل الثقيلة ما بين ١٣٥، ١٤٥ فإننا نجد هنا أن الطاقة المثارة غالباً ما تنقسم إلى قسمين متساويين بين هاتين الكتلتين. في النهاية نستطيع أن نقول الآتي:

إن جميع النيوترونات الخارجة أو المطرودة لاتعتمد في خروجها بدرجة كبيرة على طريقة الانشطار النووي نفسه بل تعتمد أكثر على مجموع الطاقة المستثارة أو المثارة في جميع الحالات

النيوترونات المتأخرة أو البطيئة الناتجة عن الانشطار :

كما أشرنا من قبل أن الغالبية العظمى من النيوترونات [حوالي ٩٩٪] الناتجة عن الانشطار تخرج في حوالي ١٠-١٤ من الثانية وهذه النوعية من النيوترونات يطلق عليها بالنيوترونات الفورية - إلا أنه في الوقت نفسه يوجد هناك نسبة صغيرة من النيوترونات تخرج بعد فترة من عملية الانشطار النووي وهي ما يطلق عليها بالنيوترونات البطيئة. وعليه ففي حالة انشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ بنيوترون ذو طاقة لاتقل عن ١ مليون إلكترون فولت فإنه يوجد حوالي ٠,٦٥٪ أو واحد نيوترون من كل

١٦٠ من النيوترونات الخارجة يكون بطيء الحركة ومتأخر ، ويمكن ملاحظة النيوترون المتأخر لبضع دقائق الذي يفقد قوته بعد فترة من الوقت. في الواقع أن عملية خروج النيوترونات البطيئة تعتبر عامل هام للغاية وخاصة في عمليات التحكم الخاصة بمفاعلات الانشطار النووي. ولمعرفة المزيد عن النيوترونات البطيئة فإنه لابد من الرجوع إلى أوائل عام ١٩٣٩ وذلك قبل الإعلان عن اكتشاف النيوترونات الفورية أو السريعة الناتجة عن الانشطار النووي وذلك عندما لاحظ روبرتس ، هافستاد ، ميرر ووانج من الولايات المتحدة الأمريكية أنه بعد انشطار اليورانيوم والثوريوم بفترة لازالت توجد هناك بعض النيوترونات تخرج من الشظايا المنشطرة وبالطبع كانت هذه هي النيوترونات البطيئة الخارجة بمصاحبة الانشطار النووي. وبإجراء بعض التحليلات والدراسات على معدل الإنخفاض في كثافة هذه النيوترونات بواسطة علماء الفيزياء مثل : بوث ، دايننج وسلاك في عام ١٩٣٩م وأيضاً كوك ولوريتسين من الدانمارك تم التوصل إلى وجود ٤ فترات للإنحلال - ولكن الدراسات التي أجريت بعد ذلك أثبتت أن هناك ٦ فترات أو مجموعات (كما يقال) نتجت عن انشطار اليورانيوم ٢٣٥ بنيوترون حراري. والجدول التالي يوضح خصائص هذه النيوترونات وذلك من حيث فترة نصف الحياة ونسبة النيوترون البطيء للمجموع الكلي للنيوترونات الخارجة وأيضاً طاقة كل نيوترون :

المجموع	فترة نصف الحياة بالتأنيية	النسبة المئوية للنيوترون من المجموع الكلى الخارج	طاقة النيوترون بالمليون الكترون فولت
المجموعة الأولى	٥٥,٧٠ ثانية	٠,٢١٥ %	٢٥
المجموعة الثانية	٢٢,٧٠ ثانية	٠,١٤٢٤ %	٤٦
المجموعة الثالثة	٦,٢٢ ثانية	٠,١٢٧٤ %	٤١
المجموعة الرابعة	٢,٣٠ ثانية	٠,٢٥٦٨ %	٤٥
المجموعة الخامسة	٠,٦١ ثانية	٠,٠٧٤٨ %	٤١
المجموعة السادسة	٠,٢٣ ثانية	٠,٢٧٢ %	—
الإجمالى	الإجمالى	١٠٠ %	

وتتطبق حالة اليورانيوم ٢٣٥ على كل من البلوتونيوم ٢٣٩ واليورانيوم ٢٣٣ إلا أن الفارق هنا يتمثل فى النسبة المئوية للنيوترونات البطيئة إلى المجموع الكلى للنيوترونات الخارجة - حيث تبدو فى البلوتونيوم بـ ٠,٢١ % وفى اليورانيوم ٢٣٣ بحوالى ٠,٢٦ % أى أن نسبة خروج النيوترونات البطيئة أقل من كل من اليورانيوم ٢٣٥ واليورانيوم ٢٣٣.

النيوكليدات القابلة للانحطاط بدون طاقة محددة وبطاقة لا تقل عن املليون الكترون فولت :

لقد أشرنا فيما سبق عن أن اليورانيوم ٢٣٥ ينشطر بأى كمية طاقة مصاحبة للنيوترونات المقذوفة والتي تبدأ من الصفر فما فوق - ولكن اليورانيوم ٢٣٨ الموجود فى الطبيعة يتطلب انشطاره نيوترونات ذات طاقة لا تقل عن املليون الكترون فولت وهذا ماتوقعه وناقشه بوهر فى فبراير

عام ١٩٣٩م كما ذكرنا من قبل والذي كان من نتيجته القيام بالعديد من التجارب في أوائل عام ١٩٤٠م بواسطة بوث، دايننج وجروس من جامعة كولومبيا من الولايات المتحدة الأمريكية .

ومن هذه التجارب تم الحصول على بعض العينات المنفصلة من نظائر اليورانيوم ٢٣٥ و اليورانيوم ٢٣٨ بواسطة "تير" أولاً ثم بعد ذلك بواسطة كينجدون وبولوك اللذان استخدمتا طريقة الكهربية المغنطيسية في تجاربهما. وعليه فقد تم تعريض هذه العينات للقذف بنيوترون بطيء والذي كان من نتيجته انشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ بينما النظير الثقيل لليورانيوم ٢٣٨ فإنه لم يعاني أى انشطار على الإطلاق ولكن لوحظ بعد ذلك أن اليورانيوم ٢٣٨ يمكن أن ينشط إذا قذف بنيوترون سريع ذو طاقة لا تقل عن "١" واحد مليون الكترون فولت . إلا أن أهم حدث هو اكتشاف التشابه الكبير بين اليورانيوم ٢٣٥ و كل من اليورانيوم ٢٣٣ و البلوتونيوم ٢٣٩ من حيث سرعة الانشطار و الذى يتم بنيوترون يحمل أية كمية من الطاقة ابتداء من الصفر فما فوق و لهذا فقد أطلق على هذه النوعية اسم النيوكليدات السريعة الانشطار . إلا أنه فى نفس الوقت تم التوصل إلى أن اليورانيوم ٢٣٨ و الثوريوم ٢٣٢ وبعض الفصائل الأخرى من الممكن إنشطارهم بطاقة تبدأ بواحد مليون الكترون فولت ومن ثم فقد أطلق على هذه النوعية اسم النيوكليدات المنشطرة بطاقة معينة.

ولقد تم تحليل ذلك بأن النيوكليدات السريعة الانشطار تحتوى على عدد متساوٍ من البروتونات وعدد شارد أو غير منتظم من النيوترونات أو عدد شارد من كل من البروتونات والنيوترونات - وفى جميع الاحتمالات وجد أن اليورانيوم ٢٣٣ و اليورانيوم ٢٣٥ و البلوتونيوم ٢٣٩ هم النظائر

الوحيدة التى تملك أطول فترة نصف حياة وهى التى تى تعتبر هامة جداً فى عملية تحرير الطاقة فى المفاعلات الخاصة بالأنشطار النووى. أما النيوكليدات المنشطرة بأستخدام طاقة محددة مثل اليورانيوم ٢٣٨ والثوريوم ٢٣٢ فهى إما تملك أعداد متساوية من البروتونات والنيوترونات أو أعداد متساوية من النيوترونات وشاردة من البروتونات، ولكن إن ما يهمنا هنا هو النظائر التى تتساوى فيها النيوترونات والبروتونات وذلك لإمكان تحويلهم إلى أنواع منشطرة وذلك بتفاعلهم مع النيوترونات.

ومن خلال التجارب النهائية لوحظ أيضاً أن النيوكليدات المنشطرة بطاقة معينة تسلك نفس سلوك النيوكليدات السريعة الأنشطار، ولقد كان أهم الدلائل على ذلك هو خروج، أو ٣ نيوترون فى المتوسط من نويات النيوكليدات المنشطرة بطاقة لا تقل عن ١ مليون إلكترون فولت هذا بالإضافة إلى خروج نسبة صغيرة من النيوترونات البطيئة الحركة من نفس المجموعات الستة السابق الإشارة إليها فى اليورانيوم ٢٣٥.

الأنشطار التلقائي

أن الأنشطار التلقائي الذي ظهر في العديد من النيوكليدات التي تزيد عدد كتلتها عن ٢٣٠ يمكن اعتبارها نوع من الانحلال الإشعاعي وذلك لأنه يضارع خروج دقائق ألفا التي سبق الإشارة إليها في النشاط الإشعاعي - إلا أنه يجب ملاحظة أنه باستثناء بعض النيوكليدات الثقيلة جداً والتي عدد كتلتها يزيد عن ٢٥٠ فقد وجد أن فترة نصف حياة دقيقة ألفا أقل من الأنشطار التلقائي المشار إليه سابقاً.

وعند مقارنة النظائر المختلفة للعناصر المتوازنة في أعداد البروتونات والنيوترونات والتي يتم إنشطارها بنيوترونات مستحثة بالنظائر الأخرى الغير متوازنة والتي فيها عدد البروتونات متوازن ولكن النيوترونات غير متوازنة وشاردة وجد أن عملية الأنشطار التلقائي في الأولى أعلى من الثانية من حيث المعدل - ويتضح ذلك من الأمثلة التالية :

١- أن فترة نصف حياة الأنشطار التلقائي لليورانيوم ٢٣٨ هي ١٦١٠ سنة

٢- فترة نصف حياة الأنشطار التلقائي لليورانيوم ٢٣٥ السريع الأنشطار هي ١,٨ × ١٧١٠ عاماً.

إلا أن أهم ماثير الانتباه هنا هو الاختلاف بين فترة نصف حياة الانشطار التلقائي للبلوتونيوم ٢٤٠ والتي تقدر بحوالي ١٤١٠ سنة، والبلوتونيوم ٢٣٩ التي تقدر ب ٥ × ١٥١٠ عاماً.

أما النيوكليدات الغير متوازنة في أعداد البروتونات والنيوترونات فهي تتميز بقصر فترة حياتها الزمنية نتيجة لإنحلال دقائق بيتا، ومن ثم فإن

المعرفة الكاملة حول سلوك الانشطار التلقائي لهذه النيوكليدات غير واضحة تماماً. وبالإضافة لما سبق فقد وجد من خلال التجارب التي تمت في هذا القطاع أن فترة نصف حياة الانشطار التلقائي تقل كلما زاد العدد الذري ونقص عدد الكتلة، ومن ثم فإن النظائر المتوازنة ذات العدد الذري العالي تتميز بقصر فترة نصف الحياة الانشطار التلقائي، ويتضح ذلك من الأمثلة التالية :

١-تقدر فترة نصف حياة الانشطار التلقائي لعنصر كاليفورنيوم ذو العدد الذري ٩٨ وعدد الكتلة ٢٥٤ بحوالى ٦٠ يوم.

٢-أما بالنسبة لعنصر الفيرميوم ذو العدد الذري ١٠٠ وعدد الكتلة ٢٥٦ فهي تقدر بحوالى ٣,١ ساعة.

من ناحية أخرى فقد أكتشف أن العلاقة بين فترة نصف حياة الانشطار التلقائي وعدد كتلة النظير ليست بالسهلة أو المفهومة تماماً ومن ثم فيحتمل أن هناك تأثير على معدل الانشطار التلقائي وذلك نتيجة حدوث تقارب شديد للنيوترونات تحت أغلفة النواة وذلك فى المنطقة التى يحدث فيها عادة الانشطار التلقائي وهذا بالنسبة للعناصر ذات العدد الذري العالى. ولكن بالرجوع مدة أخرى إلى العناصر الثقيلة فإننا نجد أن عنصر كاليفورنيوم ٢٥٢ هو أحد النيوكليدات التى تقدر فترة نصف حياة الانشطار التلقائي به قصيرة نسبياً وهى ٨٥ عاماً ومن ثم فهو موجودة فى الطبيعة بكميات معقولة نسبياً - لهذا فقد تم دراسة إنشطاره التلقائي والذي تمثل فى الآتى :

أن نواتج إنشطار العنصر تمثلت فى مجموعتين كل منهما ذو كتلة مختلفة عن الأخرى هذا بالإضافة إلى أنهما ليسا متمثلين - علاوة على ما

تقدم فقد وجد أن المجموعة الحقيقية يبلغ الحد الأقصى لعدد كتلتها ١٠٧، أما كتلة المجموعة الثقيلة فهي أقرب إلى ١٤٠ [في الواقع إن هذا الانشطار يشبه إلى حد بعيد أنواع الانشطار اللاتماثلي في النيوكليدات ذات عدد الكتلة الصغير جداً مثل اليورانيوم ٢٣٣]. في الحقيقة أن هذه النوعية من النيوكليدات تتشابه إلى حد كبير مع النيوكليدات السريعة الانشطار وقد يتضح ذلك من خلال مجموعة النيوترونات المتحررة في الانشطار التلقائي وذلك لأنها تميل إلى الزيادة مع زيادة العدد الذري وعدد الكتلة - ومن ثم فإن متوسط عدد النيوترونات يصل إلى ٢,١ في اليورانيوم ٢٣٨، وحول ٢,٨ في عنصر كيريم ٢٤٤ والذي عدده الذري ٩٦، بالإضافة إلى ذلك يصل عدد النيوترونات المتحررة لعنصر كلفورنيوم ٢٥٢ حوالي ٣,٨ نيوترون.

نخرج من هذا بالآتي : أن ميكانيكية الانشطار التلقائي تتساوى في الأهمية مع الانشطار المستحث بالنيوترونات.

الفصل الرابع

نظرية الانشطار النووي ونواتجه

ميكانيكية الانشطار النووي :

لقد تبين لنا فيما سبق أن أية نواة كتلتها أكبر من مجموع الدقائق الناتجة عن إنشطارها تدل على أن هذه النواة غير مستقرة - ويرجع السبب في ذلك أن هذه الدقائق أو الجزيئات المنشطرة يصاحبها نقص في الكتلة وأيضاً تحرير طاقة. وكما رأينا أيضاً أن كتلة نواة اليورانيوم هي بالتأكيد أكبر من مكونات الجزيئين المنشطرين عنها، من ثم فإن هذا يقودنا إلى التساؤل التالي : لماذا لاتعاني جميع النويات المنشطرة عن نواة اليورانيوم إنشطار تلقائي سريع ؟

في الحقيقة أن الانشطار التلقائي يحدث بالفعل ولكن معدله صغير للغاية - وعلى الرغم من وضوح هذه الإجابة إلا أن المهتمين بدراسة الانشطار النووي يتسائلون عن عدم استمرارية انقسام نواة اليورانيوم بصفة مستمرة ؟

وللإجابة على ذلك علينا أن نتبع التالي :-

في الواقع إن الانخفاض التدريجي (مع زيادة عدد الكتلة) لطاقة الترابط عن كل نيوكليون للعناصر التي تزيد عدد كتلتها عن ٧٠ (أي العناصر ذات عدد الكتلة العالية) وخاصة إذا كانت أكبر من ١٤٠ يجعل هذه العناصر قادرة على المرور بعمليات الانشطار التلقائي مع خروج طاقة

تابعة لهذا الانشطار، ولكن نود أن نضيف حقيقة هامة وهى أن انشطار النيوكليدات التى عدد كتلتها أقل من ٢٣٠ يمكن أن تنشط بصفة مستمرة وذلك فى حالة واحدة فقط وهى أنه لابد من قذف نواتها بدقائق ذات طاقة عالية لحدوث عملية الانشطار النووى .

ولتفهم ميكانيكية الانشطار النووى علينا أن نتفهم التالى :

على الرغم من أن الحالة السابقة تبدو شبه متناقضة إلا أنها لا تختلف كثيرا عن الاتجاه الكيميائى وبالتحديد الكيمياء الحرارية - بالكيمياء الحرارية كما نعرف هى أحد فروع الكيمياء التى تختص بدراسة التغيرات الحرارية المصاحبة للتفاعلات الكيميائية - وهذا بالطبع يقودنا إلى قانون بقاء الطاقة الذى أشرنا إليه قبلا، فكما هو واضح أن كل مادة تمتلك قدرا معينا من الطاقة والتى هى عبارة عن طاقة حركية وطاقة وضع، ومن ثم فتعتبر الطاقة الكيميائية صورة من صور طاقة الوضع وتكون مخزنة فى المادة نتيجة تركيبها .

وعليه فإنه يتضح لنا أن معظم التفاعلات الكيميائية ينتج عنها انبعاث حرارة أو امتصاص حرارة، وكما أشرنا فيما سبق أن الحرارة لاتأتى من العدم وعليه فإن مجموع الطاقات للمواد الداخلة فى التفاعل يجب أن يكون مساويا لمجموع الطاقات للمواد الناتجة من التفاعل - ومن ثم فإننا نفترض أن لكل عنصر طاقة ذاتية وهى ما تعرف بالمحتوى الحرارى، فإذا حدث بناء على ما سبق أى تفاعل كيميائى ونتج عنه انبعاث حرارة فإنه لابد أن يكون المحتوى الحرارى للمواد الخارجة من التفاعل أقل من المحتوى الحرارى للمواد الداخلة فى التفاعل، وبالطبع يظهر هذا الفرق فى الطاقة فى شكل حرارة.

ولكى نكون أكثر وضوحاً علينا أن نتخيل الآتى : عند مزيج غازى الهيدروجين والأكسجين تحت درجة حرارة وضغط عادى فإننا نجد أنهما غير مستقرين تماماً وذلك فيما يتعلق بتكوين الماء السائل - ويرجع السبب فى ذلك إلى أن مجموع الطاقة الحرة للماء أقل بكثير من مزيج غازى الهيدروجين والأكسجين، ويلاحظ أن مزيج غازى الهيدروجين والأكسجين من الممكن حفظهما فى وعاء زجاجى لملايين السنين دون تكوين الماء الملحوظ، وبالطبع يرجع السبب فى ذلك إلى عدم حدوث تفاعل بين الغازين وذلك لأنه يتطلب كمية معينة من الطاقة يطلق عليها طاقة الحث وذلك قبل تكوين الماء. ولكن تحت الظروف العادية نجد أن هذه الطاقة مختزنة داخل جزئيات العنصر وبالتالى فهى مهمة ومن ثم فهى غير ملحوظة، وعليه فإنه يمكننا الحصول عليها وذلك بمرور شعاع كهربي داخل المزيج الذى يؤدى إلى تفاعل الغازين وتكوين الماء، وهناك صورة أخرى من التفاعلات الكيميائية تتمثل فى الوقود مثل الخشب والكربوهيدرات وزيوت الهيدروكربون والأكسجين، ويلاحظ أن جميعهم غير مستقرين وذلك فيما يتعلق بنواتج الاحتراق.

:

ومن ذلك نخرج من الآتى : أن الطاقة الحثية ضرورية لإحداث التفاعل • ولنعد مرة ثانية إلى ميكانيكية الإنشطار النووى، وهنا يجب علينا أن نتفهم بوضوح نموذج القطرة السائلة للنواة والذى يتمثل فى أبسط صورة فى الآتى :

إذا نظرنا إلى أية قطرة سائلة فإننا نجد أن سطح القوى المؤثرة تميل إلى استمرار هذه القطرة السائلة في شكل ثابت بحيث تجعلها تقاوم أى تجزأ يحدث لها - وهى هنا تشبه القوى النووية التى تستخدم لحفظ النواة فى حالة ثابت. أما بالنسبة للإنقسام أو تجزئ القطرة السائلة إلى قطرتين صغيرتين أو إنشطار النواة فلا بد من إستخدام طاقة إضافية لحدوث هذا الإنقسام - وهنا نود أن نشير إلى أن هذا هو الأساس فى تفسير نظرية الإنشطار النووى التى أشار إليها فريش وميتنير - ولكن بوهـر (العالم الدنمركى) عمل على تطوير هذه النظرية فى عام ١٩٣٩م أثناء زيارته للولايات المتحدة الأمريكية وذلك عندما تحدث. أولاً عن السلوك الكيفى ثم بعد ذلك عن السلوك الكمى مع عالم الفيزياء النووية "ويلير" وبصفة عامة يمكن فهم ميكانيكية الإنشطار النووى من خلال القطرة السائلة المشطورة إلى قطرتين صغيرتين عن طريق إستخدام قوة مناسبة تجعلها تمر بمراحل متعددة تتمثل فى الشكل التالى :



نموذج القطرة السائلة للنواة خلال مرحلة إنشطارها

ويلاحظ من الشكل أن القطرة أولاً تأخذ الشكل الكروي كما هو موضح في (أ) ثم بعد استخدام القوى المناسبة لانشطارها تبدأ تأخذ في الاستطالة حتى تتحول إلى الشكل البيضاوي كما هو موضح بالشكل (ب) .

ولكن إذا كانت الطاقة المستخدمة لانقسام القطرة غير كافية لكى تتغلب على التأثيرات السطحية للقطرة فإنها تعود مرة ثانية إلى الشكل الكروي الأصلي - أما إذا كانت الطاقة المستخدمة كافية فإن الشكل (ب) يستمر في الاستطالة حتى يحدث إختناق في منطقة الوسط وبالتالي يأخذ الشكل (ج) - وعندما تصل مرحلة الانشطار إلى هذه الدرجة فإنه يبدو من الصعب العودة مرة ثانية إلى الشكل الكروي وعليه فتتقسم النقطة إلى نقطتين صغيرتين وتأخذ في النهاية الشكل (د) .

والوضع في الانشطار النووي يشبه إلى حد كبير الانشطار الحادث في نقطة السائل، وعلينا هنا أن نلاحظ أن الهدف من إندماج النواة بالنيوترون في عملية الانشطار النووي هو الحصول على مكونات النواة ومن ثم فإننا نحصل على طاقة ناتجة عن الانشطار تتساوى مع طاقة ترابط النيوترون المضاف علاوة على طاقة الكينتيك للنيوترونات المطرودة من نواتج الانشطار [طاقة الكينتيك = نصف كتلة الذرة \times مربع سرعة الكتلة] .

ومن هنا فإننا نجد أنه من الممكن خروج الطاقة الحثية في صورة إشعاع جاما [وهذا بالطبع في حالة وجود طاقة كافية] وعليه فيطرد واحد أو

أكثر من النيوكلونات - ولكن إذا كانت هناك زيادات فى الطاقة فإن مكونات النواة "كما فى نموذج القطرة السائلة" سوف تمر خلال ذبذبات قوية ومختلفة والذي من نتيجته أن تأخذ النواة صورة الشكل البيضاوى (ب) الذى سبق الإشارة إليه.

أما إذا كانت الطاقة الناتجة عن إختراق النيوترون غير كافية لشطر النواة فأنها [أى النواة] سوف تعود إلى حالتها الأصلية ومن ثم فإن الطاقة الذائدة سوف تستبعد عن طريق طرد أحد أنواع الدقائق الموجودة بها - ولكن إذا حصلت النواة على طاقة كافية فإنها سوف تأخذ تلقائيا صورة الشكل (ج) ومن ثم فإن الرجوع إلى الشكل (أ) يصبح أمرا بعيد الاحتمال ولايمكن حدوثه، ويرجع السبب فى ذلك إلى نفور الكهربية الاستاتيكية بين الشحنة الموجبة الموجودة على نهايتى الشكل (ج) والتي أصبحت الآن متغلبة على الجزء الصغير نسبيا لقوة الترابط النووى العاملة فى منطقة الوسط المختنقة، وبناء على ما تقدم من مراحل الانشطار وجد أنه عندما تأخذ النواة الشكل (ج) فإنها تمر بسرعة هائلة حتى تصل إلى مرحلة الانشطار النهائى المتمثل فى الشكل (د) والذي هو عبارة عن الكتلتين المنشطرتين عن النواة الأصلية ، إلا أنه لوحظ هنا أنهما يندفعان فى اتجاهين متضادين .

هذا ويفهم من هذا النموذج أن سلاسل التغيرات التى سبق شرحها تعليقا على الأشكال أ ، ب ، ج ، د أنه من الممكن أن يحدث هذا الانشطار

فقط إذا صوحت عملية الانقسام بإنخفاض الكتلة وذلك عن طريق خروج الطاقة - ومن ثم يمكن الوصول إلى الحالة (د) والتي تتكون من نويّتان منفصلتان هما أكثر استقلالاً من الحالة الأولى المتمثلة في الشكل (أ) ، ولكن تبعا لنموذج القطرة السائلة فإننا نجد أن النويّتان الناتجتان عن الانشطار النووي لا بد وأن يكونان متساويان - وعليه فإننا نجد هنا أول اعتراض على ذلك ، فكما عرفنا من قبل أن أحد المشاكل الرئيسية في عملية الانشطار النووي هي عدم التماثل للنواتج المنشطرة عن النواة وذلك في معظم الحالات [وليست الكل] .

وبالنسبة لظاهرة عدم التماثل هذه نجد أن البعض يرى أنها تعود إلى بعض السلوك الخاص بتكوين أغلفة النواة [في الواقع هذا مجرد احتمال] ، وبينما يرى البعض الآخر أن تفسير هذه الظاهرة يحتمل وجوده في عملية انشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ بالنيوترون حيث وجد أنه نتيجة قذف النواة بالنيوترون أصبح العدد الذري للنواة ٩٢ [وهو عدد البروتونات] كما أن عدد الكتلة زاد واحدا قبل انشطار النواة وبالتالي أصبح ٢٣٦ [وهو عدد النيوكليونات] - ولذا فإنه عند حدوث الانشطار يظهر هناك ميول لتكوين مجموعتين وبالفعل هذا ما يحدث ومن ثم فإن المجموعة الأولى يتكون عدد نيوترونها من ٥٠ ، والمجموعة الثانية يصل عدد نيوترونها إلى ٥٠ أيضا ، في نفس الوقت إذا افترضنا أن

العدد المناسب للبروتونات فى المجموعة الأولى هو ٣٢ بروتون ، وأيضا
العدد المناسب للمجموعة الثانية هو ٧٨ نيوترون ، من ذلك نخرج بالتالى:

المجموع الكلى للبروتونات فى المجموعتين هو :

$$= ٥٠ + ٣٢ = ٨٢ \text{ وهو عدد الكتلة}$$

المجموع الكلى للنيوترونات فى المجموعتين هو :

$$= ٥٠ + ٧٨ = ١٢٨ \text{ وهو العدد الذرى}$$

وعليه فإن المجموع الكلى للمجموعتين :

$$= ٨٢ + ١٢٨ = ٢١٠ \text{ نيوكليون}$$

أى أن الفارق هنا هو :

$$= ٢٣٦ \text{ قبل إنشطار النواة} - ٢١٠ = ٢٦ \text{ نيوكليون}$$

وهذا العدد (٢٦) مشترك بين المجموعتين.

وهناك بعض الآراء التى تقول أن ال ٢٦ نيوكليون تقسم بطرق
عديدة ومختلفة وهذا يوضح أن هناك العديد من الشظايا المنشطرة المختلفة
الكتلة والعدد الذرى. وبالنسبة للتوزيع الأمثل لـ ٢٦ نيوكليون فقد وجد أنه
من خلال الطاقات الحثية يمكن تقسيمها بالتساوى بين المجموعتين وذلك
بأخذ ١٣ نيوكليون لكل جزء ومن هنا فإننا نجد أن الكتل الفورية للشظايا
المنشطرة سوف تكون كالآتى :

$$٨٢ + ١٣ = ٩٥ \text{ بروتون ، } ١٢٨ + ١٣ = ١٤١ \text{ نيوترون}$$

[يلاحظ أن هناك احتمال ضعيف للتوزيعات الغير متساوية لـ ٢٦

نيوكليون على الشظايا الاخرى المنشطرة الناتجة عن الكتل الأقل] ، وفى

حالة الانشطار اللاتماثل فقد وجد أن النيوترونات فى مجموعة الكتل الخفيفة وأيضا عدد البروتونات فى مجموعة الكتل الثقيلة يجب أن يزيد عن ٥٠، ولكن مع النيوكليدات ذات عدد الكتلة الأقل من ٢١٠ فإن هذا ليس محتملا. ونتيجة لما سبق يتضح لنا أن الميل لتشكل أغلفة مقفولة ليس لها أى تأثير على سلوك عملية انشطار النواة، وفى هذه الظروف نجد أن الانشطار التماثل يصبح أكثر احتمالا كطريقة لعملية الانشطار النووي وهذا ملاحظناه من قبل فى عنصرى البيسموت والرصاص.

لكن نود أن نقول هنا أن حدوث الانشطار المتماثل والغير متماثل يظهر فى النيوكليدات المتوسطة فى العدد الذرى والكتلة، ويعمل السبب فى حدوث الانشطار بأن تأثير تكوين الغلاف المقفول ليس قويا فى هذه الحالات ويتضح ذلك من خلال طاقة الجسيم المتسببة فى عملية انشطار النواة حيث أنها تزداد كما يودى بالتالى إلى زيادة الطاقة الحثيية للنواة المركبة وهذا بالتالى يودى إلى زيادة محدودة داخل الاغلفة المغلقة للنيوكليون مما يودى فى النهاية إلى تشكيلها ولكن بصعوبة.

وفى النهاية نود أنت نقول أنه مما لاشك فيه أن الانشطار التماثل بدأ يحظى باهتمام شديد كما أن أهميته تزداد يوما بعد يوم ويعتقد أنه سيسود فى النهاية وذلك بغض النظر عن كتلة النيوكليد المارة بعملية الانشطار.

الطاقة الحرجة لاجداث الانشطار النووي :

أن الطاقة الحرجة [أو الطاقة الحثية] الضرورية لحدوث الانشطار النووي ماهي إلا الطاقة التي تزود بها النواة الأصلية وذلك بغرض تحويلها إلى الشكل (ج) السابق الإشارة إليه في صفحة ٦٢، حيث طاقة النفور الكهرواستاتيكي تتغلب على الطاقة السطحية المقاومة لعملية الانشطار.

وبالإضافة إلى ما سبق فإنه يتضح لنا من خلال المعالجة الكمية التي أقيمت على أساس نموذج القطرة السائلة أن بوهر و ويلير [لقد أشرنا من قبل إلى ذلك] قاما بإيضاح أنه إذا كانت طاقة النفور الكهرواستاتيكي أكبر من ضعف الطاقة السطحية الواقعة على القطرة فإن القطرة أو النواة سوف تمر بعملية الانشطار أو الإنقسام الفوري. وببساطة شديدة نستطيع القول :

أن الطاقة الحرجة لنواة اليورانيوم ٢٣٥ وذلك بعد إمتصاصها للنيوترون المقذوف بغرض إنشطارها تقدر بحوالى ٥,٥ مليون إلكترون فولت - وتقدر نفس الكمية أيضا للبلوتونيوم ٢٣٩ واليورانيوم ٢٣٣. أما بالنسبة للعناصر الأخف من ذلك مثل البيسمuth والرصاص والتانتالم فإن الطاقة الحرجة لا تقسام أنويتهم أكبر بكثير من التي تحتاجها نواة اليورانيوم ٢٣٥ حيث يعتقد أنه يلزم لانوية هذه العناصر أولا طاقة عالية جدا مصاحبة للجسام المقذوفة بغرض شطر أنويتهم تقدر بحوالى عشرات

الملايين من الالكترون فولت حتى يتسنى لهذه الانوية الحصول على الطاقة الحرجة اللازمة لشرط أنويتهم.

الانشطار وطاقة النيوترون :

فى الواقع أنه ليست هناك طريقة دقيقة معروفة حتى الآن لحساب الطاقات الحرجة لاهداث الانشطار النووى، ولكن يعتقد أن أقرب هذه التقديرات الناتجة عن التجارب التى أجريت فى هذا القطاع هى بالنسبة لليورانيوم ٢٣٨ فقد وجد أن الطاقة الحرجة للانشطار وذلك بعد إمتصاص النواة للنيوترون هى ٦,٣ مليون الكترون فولت، بينما فى اليورانيوم ٢٣٥ تقدر بحوالى ٥,٥ مليون الكترون فولت.

مما سبق يتضح لنا أن الفارق بين اليورانيوم ٢٣٨ ، ٢٣٥ هو ٠,٨ مليون الكترون فولت، وبالطبع هذا يعنى أن اليورانيوم ٢٣٥ قابل للانشطار بسرعة اكبر من اليورانيوم ٢٣٥ - ولكن علينا أن نراعى أن ال ٠,٨ مليون الكترون فولت ليست من الأهمية بمكان إذا عرفنا أن أنشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ لايمكن ان تنشطر إلا عن طريق نيوترون حرارى ذو طاقة تقدر بجزء من الالكترون فولت - بينما اليورانيوم ٢٣٨ وجد أن نواته تحتاج على الأقل نيوترون ذو طاقة لاتقل عن ١ مليون الكترون فولت وذلك لاهداث عملية الانشطار بمساعدة الطاقة الحرجة. ولكن علينا أن نتذكر هنا حقيقة هامة وهى انه قبل الحصول على التقديرات الكمية

لحدوث عملية الانشطار النووي أو معرفة أية معلومات خاصة بالانشطار
نواة اليورانيوم 235 بالنيوترون البطيء كان " بوهر " قد تنبأ في فبراير
عام ١٩٣٩م بأن نظير اليورانيوم الخفيف وهو بالطبع اليورانيوم 235
يمكن أن ينشطر بنيوترون حرارى، ولقد إعتد بوهر فى ذلك على الآتى :
يقول بوهر : حيث أن اليورانيوم 235 يمتلك عدد متعادل من البروتونات
وغير متعادل أو شاذ من النيوترونات وعليه فإن النواة المركبة تكونت
بواسطة إمتصاصها لنيوترون وذلك بحصولها على اعداد متساوية من
النيوترونات والبروتونات - إذن فإن اليورانيوم 235 بهذه الطريقة يكون
قد حصل على طاقة اكبر من اليورانيوم 238 - وذلك لأن اليورانيوم 238
هو فى الأساس متوازن فى اعداد النيوترونات والبروتونات ولكن عند قذفه
بالنيوترون الذى تمتصه النواة بالتبعية فإنه يصبح متوازن فى اعداد
البروتونات وشاذ فى اعداد النيوترونات.

ويضيف بوهر : أن النواة المركبة التى شكلت من اليورانيوم 235
والنيوترون الحرارى الذى قذفت به سوف تصبح فى حالة اكثر نشاطا من
نواة اليورانيوم 238 بعد قذفها بالنيوترون - وهنا يقول بوهر أن نواة
اليورانيوم 235 تمر بعملية الانشطار النووي بسهولة اكثر من نواة
اليورانيوم 238 • فى الواقع أن بوهر و يلير الأمريكى قاما بحسابات
تفصيلية فى هذا المجال إلى أن توصلا إلى الحصول على الطاقة الحرجة
للنواة وأيضا الطاقة المكتسبة عند دخول النيوترون لجسم النواة والتى عن

طريقهما يتم الانشطار النووي - ولكن نظراً لطول هذه الحسابات فإننا سنكتفى هنا بالنتائج التي توصلنا إليها وهي أن الطاقة الحرجة لليورانيوم ٢٣٨ هي ٦,٣ مليون الكترون فولت وهذه هي التي يتم عنها حدوث الانشطار النووي لكن النواة اكتسبت فقط ٥,٤ مليون الكترون فولت عند امتصاصها النيوترون المقذوف ذو الطاقة الكينيتية التي تساوى صفر، بينما في حالة قذف النواة بنيوترون حراري ذو طاقة تقدر بحوالي ٠,٣ مليون الكترون فولت فإن عملية الانشطار هنا أمر بعيد الاحتمال ولهذا فقد تبين أن هذه النيوترونات تحتاج إلى طاقة تقدر بـ $6,3 - 5,4 = 0,9$ مليون الكترون فولت من الطاقة الكينيتية وذلك حتى يتم انشطار نواة اليورانيوم ٢٣٨ ولكن التجارب بينت أن ٠,٩ مليون الكترون فولت ليست بالكافية لحدوث عملية الانشطار ومن ثم فقد وجد أنه لا بد من أن النيوترون المقذوف يحتاج على الأقل ١ مليون الكترون فولت لإحداث عملية الانشطار.

أما اليورانيوم ٢٣٥ فهو مختلف تماماً عن اليورانيوم ٢٣٨ وذلك لأن طاقته الحرجة تقدر بحوالي ٥,٥ مليون الكترون فولت ، لكن وجد أن هذه الطاقة تصل إلى ٦,٥ مليون الكترون فولت عندما تصطدم النواة بالنيوترون الحراري مما يؤدي في النهاية إلى حدوث عملية الانشطار. وكما أشرنا من قبل عن تنبؤات بوهر فقد أثبتت التجارب التي تمت في عام ١٩٤٠ م صحة وتأكيدها ما أعلنه بوهر وهي المتعلقة بالتجارب التي أجريت

على النظائر المنفصلة والتي قالت أن اليورانيوم ٢٣٥ ينشط بـنيوترون بطيء بينما اليورانيوم ٢٣٨ ينشط بـنيوترون سريع. أما بالنسبة لليورانيوم ٢٣٣ فقد وجد أن طاقته الحرجة هي ٥,١ مليون إلكترون فولت ، أما البلوتونيوم ٢٣٩ فهي ٤,٨ مليون إلكترون فولت - وفي كلتا الحالتين تحتوى النواة على عدد متوازن من البروتونات وغير متوازن من النيوترونات - وعليه فعند قذف نواة كل من اليورانيوم ٢٣٣ والبلوتونيوم ٢٣٩ فإن نواة كل منهما تصبح غير متوازنة في أعداد البروتونات والنيوترونات - ومن ثم فإن الطاقة الكلية بعد قذف النواة بالنيوترون البطيء تصبح ٦,٦ مليون إلكترون فولت لليورانيوم ٢٣٣ و ٦,٤ مليون إلكترون فولت للبلوتونيوم، وبالتالي تنتج الطاقة الحرجة لكل نواة ويحدث الانشطار النووي لكل. وبنفس الطريقة السابقة تستعمل نيوترونات الطاقة لحدوث إنشطار الثوريوم ذو العدد الذرى ٩٠ وعدد الكتلة ٢٣٢، والبروتاكتينيوم ذو العدد الذرى ٩١ وعدد الكتلة ٢٣٢ وأيضا النيبتونيوم ذو العدد الذرى ٩٣ والعدد الكتلة ٢٣٧ - ولكن هنا نرى أن الطاقات المستخدمة لحدوث إنشطار هذه الأنوية تتمثل فى الآتى :

١- بالنسبة للثوريوم ٢٣٢ فهو فى الصورة العادية متوازن بالنسبة لأعداد البروتونات والنيوترونات ولكن عند قذفه بالنيوترون فإن نواته تصبح غير متوازنة من حيث أعداد النيوترونات ولكنها متوازنة فى أعداد البروتونات. وهنا نجد أن الطاقة المتحررة نتيجة إمتصاص النواة

لـلنيوترون البطيء تقدر بحوالى ٤,٩ مليون الكترون فولت بينما الطاقة الحرجة الناتجة عن قذف النواة بالنيوترون فهى تقدر بحوالى ٦ مليون الكترون فولت.

٢- أما أنوية كل من البروتاكتينيوم ٢٣١، والنبتيوم ٢٣٧ فهما يحتويان على أعداد متوازنة من النيوترونات وشاردة من البروتونات - وعليه فعند قذفهما بالنيوترونات فإنهما يتحولان إلى أنوية غير متوازنة ذات أعداد شاردة لكل من البروتونات والنيوترونات ومن ثم فإن طاقة الترابط النووى لكل منهما تتخفض نسبيا - وينتج من ذلك أن الطاقة المتحررة (نتيجة قذف الانوية بالنيوترونات الحرارية) تصل فى البروتاكتينيوم ٢٣١ إلى ٤,٩ مليون الكترون فولت، وتصل فى النبتيونيم ٢٣٧ إلى ٥,٥ مليون الكترون فولت بينما نجد أن طاقات الإنشطار الحرجة تصل فى الأولى إلى ٦ مليون الكترون فولت وفى الثانية إلى ٦,٦ مليون الكترون فولت. وهنا نود أن نشير إلى أن أنوية العناصر الثلاثة السابق الإشارة إليها وهى [الثوريوم ٢٣٢، بروتاكتينيوم ٢٣١ والنبتيونيم ٢٣٧] يتم قذفها بنيوترونات ذات طاقة لا تقل عن ١,١ مليون الكترون فولت حيث يتم امتصاصها بواسطة الأنوية وذلك لإنتاج الطاقة الحرجة لإحداث الانشطار النووى.

وفى النهاية نود أن نقول أنه من خلال العرض العام للتغيرات التى حدثت فى مختلف أنواع النواتج المنشطرة الناتجة عن النيوترون

المضاف يتبين لنا أن الطاقة المتحررة تكون كبيرة فى النواة الأصلية المحتوية على أعداد متوازنة من البروتونات وشاذة من النيوترونات أو أعداد شاذة لكل من البروتونات والنيوترونات - بينما يحدث العكس فى حالة النواة التى أعداد بروتوناتها شاذة ولكنها متوازنة فى أعداد النيوترونات أو النواة المتوازنة فى كل من البروتونات والنيوترونات.

ففى الحالة الأولى : نجد أن النواة تنشط بمجرد إختراقها بنيوترون بطيء بينما الحالة الثانية تتطلب نيوترون سريع ذو طاقة لا تقل عن ١ مليون الكترون فولت. لذا فإنه يتضح لنا أن اليورانيوم ٢٣٣، اليورانيوم ٢٣٥ والبلوتونيوم ٢٣٩ والتى نواة كلا منهما تحتوى على عدد متوازن من البروتونات وشاذ من النيوترونات وكلها جميعا سريعة الانشطار حيث يتم ذلك عن طريق قذفها بنيوترون يحمل أية كمية من الطاقة. أما الأنوية المحتوية على أعداد شاذة لكل من البروتونات والنيوترونات مثل :

البروتاكتينيوم ٢٣٢، نيبتيونيوم ٢٣٦ ونيبتيونيوم ٢٣٨ وأيضا أميريكيوم ٢٥٢ فهى أيضا قابلة للانشطار - ولكن من الناحية الأخرى نجد أن نيبتيونيوم ٢٣٧ الذى يحتوى على أعداد شاذة من البروتونات وأعداد متوازنة من النيوترونات وأيضا الثوريوم ٢٣٢ واليورانيوم ٢٣٨ اللذان تحتوى أنوية كل منهما على أعداد متعادلة لكل من البروتونات والنيوترونات فإننا نجد هنا أن عملية إنشطارهما تتطلب نيوترون سريع لإنتاج الطاقة الحرجة التى تعمل على سرعة حدوث الانشطار النووى.

نواتج الإنشطار النووي

خصائص نواتج الإنشطار النووي :

فى الحقيقة أن معرفة الخصائص الفيزيائية والطبيعية الكيميائية لنواتج الإنشطار هى من الأهمية بمكان كبير وخاصة لعلاقتها بإستعمال الإنشطار النووي كمصدر للطاقة - ويتضح لنا ذلك من الآتى :

نظرا لأن الشظايا الأولية تحمل معظم طاقة الإنشطار كطاقة كينيتية لذا فإن سرعتها الأولية تكون عالية جدا حيث أنها تصل إلى ما يقرب من 10^9 سم فى الثانية. فى الواقع أن السرعة الفعلية للشظية المنشطرة تعتمد أساسا على كتلتها، وعليه يتضح لنا أن مقدار السرعة يكون أكبر من 10^9 سم فى الثانية. بالنسبة للجسم الخفيف المنشطر كما أنه يكون أقل فى الجسم الثقيل، وبالإضافة إلى سرعة الشظية المنشطرة فإننا نجد أن لها القدرة على الإختراق وذلك على الرغم من كبر حجم الشظية أو الجسم المنشطر نسبيا حيث يبلغ سرعة إختراقها فى الهواء ما بين 1,95 سم بالنسبة لاثقلها و 2,04 سم لأخفها وزنا - بينما نجد فى نفس الوقت أن النيوترونات وإشعاعات جاما المتكونة عن الإنشطار وأيضا دقائق بيتا الناتجة عن تتابع الانحلال الإشعاعى للشظايا المنشطرة لها جميعا قوة إختراق أكبر بكثير عن سابقتها. والآن نود أن نشير إلى نقطة هامة لم نتحدث عنها من قبل وهى الشحنات المتعلقة بالشظايا المنشطرة بمعنى آخر الإلكترونات المدارية.

فعلى سبيل المثال ذرة اليورانيوم تحتوى على ٩٢ إلكترون ولكن عندما تبدأ هذه الذرة فى الإنشطار يتم بالتبعية إنتزاع ٤٠ إلكترون من الذرة، وعليه فإن كل شظية ناتجة عن الإنشطار تحتوى على عدد من الإلكترونات يقل بمقدار ٢٠ عن العدد الأصلي، ومن ثم فإن أيه أيون يحمل هذا العدد من الشحنات التى أصبحت موجبة (فالأيون كما أشرنا من قبل عبارة عن ذرة أو جزئ فقدت أو أكتسبت إلكترونات واحدا أو أكثر وهى تصبح عن طريق هذا التأين مشحونة كهربيا ، ومن أمثلة الإيونات هذه دقيقة ألفا الى هى ذرة هيليوم ينقصها إلكترونات ، وكذلك البروتون والذى هو ذرة هيدروجين ينقصها إلكترون واحد).

مما سبق يتضح لنا أن هذه الدقائق أو الإيونات المشحونة ستكون حاملة لقوة تأين هائلة كالذى يتم إستعمالها بواسطة الغرف الإنشطارية أو غرف الإنشطار النووى لمتابعة النيوترونات . وهنا نود أن نضيف إلى ما سبق أن أول تأكيد لحقيقة الإنشطار النووى جاء نتيجة لدراسة التأينات الناتجة بواسطة الدقائق المنشطرة. وبالرجوع مرة ثانية إلى عملية الإنشطار النووى فإننا نلاحظ أن الشظايا الأولية المنشطرة الثابتة غالبا وذلك لإحتوائها على نسبة عالية من النيوترونات لإستقرارها تتعرض دائما لإنشطة دقائق بيتا السالبة - ويمكن توضيح ذلك فى الآتى :

كما أشرنا من قبل أنه يوجد النواة لأية ذرة نوعان من القوى التى تؤثر بين الدقائق المكونة لها وهى قوى التناثر بين البروتونات الموجبة الشحنة ، وقوى التجاذب بين مكونات الذرة وهى البروتونات والنيوترونات

والذى يقضى كل منهما جزءا من حياته على صورة بروتون والجزء الآخر على صورة نيوترون وذلك نتيجة لتبادل الميزونات بينهما فالبروتون يتحول إلى نيوترون + ميزون موجب [بوزيترون]، والنيوترون يتحول أيضا إلى بروتون + ميزون سالب [إلكترون].

أما بخصوص خروج جسيم بيتا من نواة ذرة أى عنصر فإننا نجد أن إنطلاق دقيقة بيتا يتم نتيجة تحول أحد النيوترونات إلى بروتون وإلكترون (كما أشرنا) ومن ثم يبقى البروتون بنواة الذرة بينما ينفصل الإلكترون ويتطاير خارج نواة الذرة ويسمى دقيقة بيتا السالبة وهنا نرى أن عدد الكتلة يظل ثابتا وذلك لأن الإلكترون مهمل الكتلة ، لكن فى نفس الوقت يزداد العدد الذرى بمقدار واحد نتيجة لزيادة عدد البروتونات بمقدار واحد، ولكن هنا نجد ثمة شيئا آخر وهو أن هذا البروتون الزائد يتطلب وجود إلكترون مقابل له خارج النواة وعليه فتكتسب الذرة هذا الإلكترون من الجو، وفى النهاية يتحول هذا العنصر أو الشظية المنشطرة إلى عنصر آخر نتيجة لتغير العدد الذرى. وبالعودة مرة ثانية إلى ما سبق نجد أن هناك ٥ أنواع ثابتة من النيوكليدات وهى كريبتون ٨٦ ، زيركونيم ٩٦ ، نيودايميم ١٥٠ وأخيرا سماريوم ١٥٢. فى نفس الوقت لوحظ أن هناك حوالى ١٥٤ نوع موجود بين نواتج الإنشطار النووى الأولية - ولكن لوحظ أن عنصر الريوبيديم ٨٤ غير عادى وذلك لأنه يخرج دقائق بيتا السالبة والموجبة معا. ومن خلال التجارب التى تمت فى هذا القطاع تبين أن كل شظية ناتجة عن الإنشطار النووى لها مجموعة إشعاعية قصيرة

تتطلب بالتبعية إنبعاث دقائق بيتا السالبة. ولقد وجد في المتوسط أن سلسلة الإنحلال الإشعاعي تتكون من ٣ مراحل ، كما لوحظ أن السلاسل القصيرة والطويلة أكثر حدوثًا في عملية الإنحلال الإشعاعي. وعليه فقد لوحظ أن الشظايا المحتمل إنشطارها وهي سترونتيوم ذات العدد الذرى ٣٨ وعدد الكتلة ٩٥ ، والأكسينون ذات العدد الذرى ٥٤ وعدد الكتلة ١٣٩ وذلك مع النيوكليدات الثابتة والمحتوية على نفس عدد الكتلة مع العناصر السابقة [يلاحظ هنا أن النيوكليدات الثابتة تكونت نتيجة إنحلال سلسلة بيتا السالبة] ومن هذه النيوكليدات الثابتة عنصر الموليبدنيم [عدده الذرى ٤٢ وعدد كتلته ٩٥]، وعنصر اللانثانوم [عدده الذرى ٥٧ وعدد كتلته ١٣٩] - وعليه فقد وجد أنه في الحالة الأولى يتم طرد ٤ دقائق بيتا السالبة بينما في النيوكليدات الثابتة يتم طرد ٣ دقائق فقط ومن ثم فإن المجموع الكلى لدقائق بيتا السالبة المطرودة تبلغ ٧.

ولكن من خلال التجارب العديدة التى أجريت فى هذا المجال وجد أن القيمة المتوسطة لإعداد بيتا السالبة هو ٦ وبناء على ذلك تم تقدير المتوسط بـ ٣ مراحل فى كل سلسلة إنحلال لدقائق بيتا السالبة. ولكن هنا نود أن نقول أن العمليات الإنشطارية وإنحلال دقائق بيتا السالبة ليست سهلة كما يتصور البعض والدليل على ذلك أننا كما بينا فيما سبق أنه يوجد هناك احتمال لحوالى ٩٠ شظية منشطرة [ناتجة عن إنشطار نواة اليورانيوم ٢٣٥ بنيوترون حرارى] ومن ثم إذا افترضنا أن معظم السلاسل تخلق ٣ مراحل لإنحلال بيتا السالبة فإننا نحصل فى النهاية على نواتج

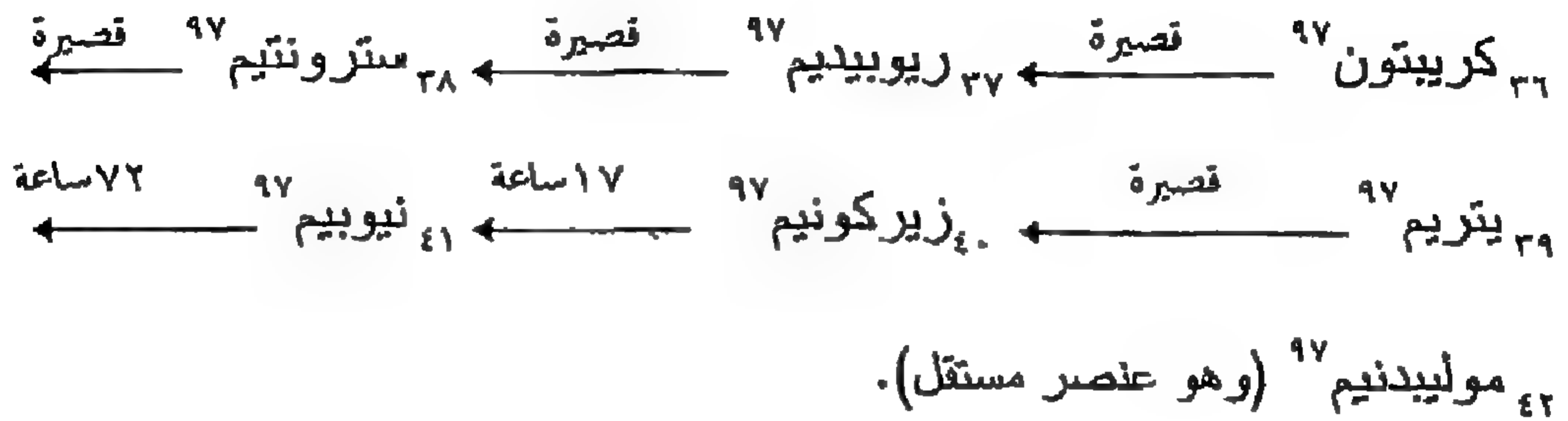
إنشطار تقدر بأكثر من ٢٥٠ نيوكليد مشع - ولكن الأمر لم يتوقف عند هذا الحد وذلك لأنه يبدو واضحا أن عملية الإنشطار تنتج خليط على درجة عالية من التعقيد لم ندخلها في تقديرات عملية الإنشطار مثل الكتل المتشابهة والنواتج ذات النهايات الثابتة، ونتيجة لم سبق فإنه يبدو أن مشكلة تحديد عدد الكتلة والعدد الذرى للشظايا المنشطرة وأيضا التحقق والتأكد من معرفة أعضاء السلاسل المنحلة يعد أمرا صعبا للغاية - ولكن على الرغم من ذلك إستمر العلماء فى أبحاثهم وتجاربهم من أجل معرفة هذه الحقائق وهنا نشير إلى أن معظم الإنجازات التى تمت فى هذا القطاع تعود إلى فترة ما قبل الحرب العالمية الثانية بقليل إلا أن أهم الإنجازات التى تمت حدثت أثناء الحرب العالمية الثانية حيث تم التوصل إلى معرفة أكثر من ٧٠ سلسلة وأكثر من ٢١٠ نوع من النيوكليدات المشعة المختلفة وأيضا العديد من النظائر التابعة لهذه النيوكليدات .

سلاسل الانحلال الإشعاعى :

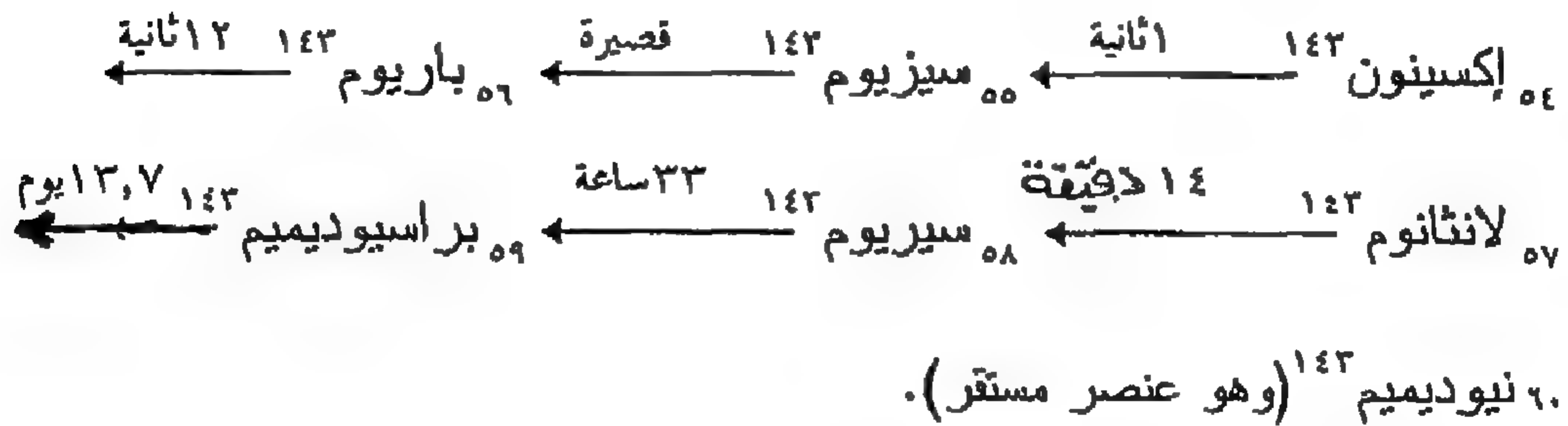
فى الواقع أنه من خلال التجارب التى تمت فى هذا المجال أمكن التوصل إلى الكثير من المعرفة حول نوعية الشظايا المنشطرة ونواتج الانحلال الإشعاعى. فكما ذكرنا من قبل أنه يوجد ٣ مراحل لخروج أو انبعاث دقائق بيتا فى كل سلسلة انحلال إنشطارى ، وغالبية هذه السلاسل إما طويلة أو قصيرة المدى. فالسلاسل القصيرة (غالبا ما تتطلب مرحلة أو إثنين) تحدث بصفة عامة فى بداية ونهاية كل من المجموعة الخفيفة والثقيلة - أما السلاسل الطويلة فتوجد حول منتصف

لأن الخوارج المنشطرة تكون عالية. ولكي تكون الصورة أكثر وضوحاً رأينا أنه لا بد من الإشارة إلى الأمثلة التالية :

-عنصر الكريبتون [عدد الذرة ٣٦ ، وعدد كتلته ٩٧] : يعد هذا العنصر واحداً من أطول سلاسل الانحلال الموجودة في نواتج الإنشطار الخفيفة والذي يتمثل في المعادلة التالية :

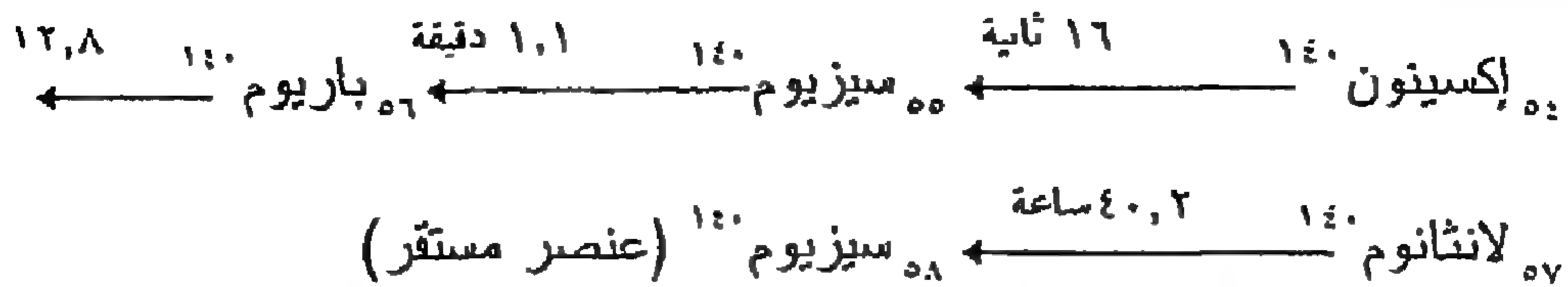


٢- عنصر الأكسينون (عدد الذرة ٥٤ وعدد كتلته ١٤٣) وهو يمثل سلسلة طويلة في المجموعة الثقيلة حيث يتضح انحلاله من خلال المعادلة التالية:



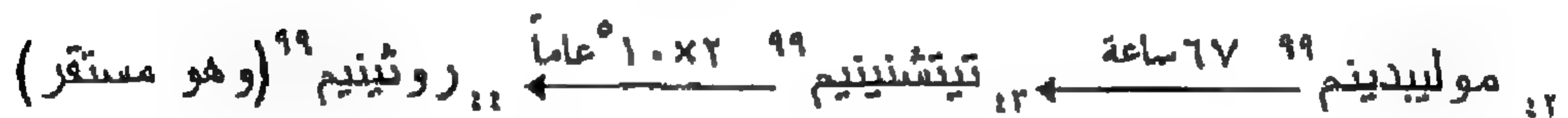
٣- وتوجد سلسلة أخرى تستحق التنويه هنا وذلك لأنها لعبت دوراً هاماً في تجارب هان وإستراسمان وهي الخاصة بعنصر الأكسينون الذي عدد ذراته ٥٤ وعدد كتلته ١٤٠ والتي نتجت من تفاعل النيوترونات مع نواة اليورانيوم والذي أطلق عليها في ذلك الوقت الراديوم ولكن وجد بعد ذلك

أنها تنفصل من الراديوم وليس من الباريوم κ ويتضح ذلك من المعادلة التالية :



٤- وبالإضافة إلى ما سبق توجد سلسلة أخرى على جانب كبير من الأهمية التي عدد كتلتها على التوالي ٩٩ ، ١٤٧ وذلك لأن نظائرها يتميزان بطول العمر وهما التيتشنيوم ذو العدد الذرى ٤٣ وعدد كتلته ٩٩، والبروميثيم ذو العدد الذرى ٦١ وعدد الكتلة ١٤٧ وبالنسبة لهذين النظيرين يعتقد أنهما لا يوجدان فى الطبيعة أو على الأقل وجودهما أمر مشكوك فيه.

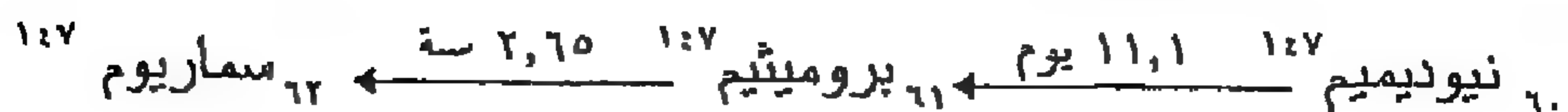
أما بالنسبة للنظير تيتشنيوم فيمكن الحصول عليه كالاتى :



ويتميز نظير التيتشنيوم بأن فترة نصف حياته تصل إلى ما يقرب من ٢٠٠٠٠٠ عاماً، ولكن تم الحصول عليه الآن بكميات محسوسة وغالباً ما تكون فى صورة نقية.

أما النظير الآخر وهو البروميثيم فيمكن الحصول عليه من خلال

سلسلة الانحلال التالية :



والنظير بروميتيم يعتبر من النظائر التي تعيش أطول فترة ممكنة والتي تقدر بحوالى ٢,٦٥ عاما.

وبالإضافة إلى ما سبق فإنه يوجد من بين نواتج الإنشطار كميات صغيرة من البرومين ذو العدد الذرى ٣٥ وعدد الكتلة ٨٢، واليوروبيديم (وعدده الذرى ٣٧ وعدد كتلته ٨٦) والسيزيوم (عدده الذرى ٥٥ وعدد كتلته ١٣٦) وهى فى الواقع نواتج هامة نظرا لأنها تعتبر أمثلة للنوكليدات ذات الأغوية الواقية أو المحمية - وكل واحد من هذه النيوكليدات له أثنين مستقرين وعدد كتلتاهما أعلى وأقل بوحدة واحدة فقط على الترتيب ويتضح ذلك من الآتي :

$^{82}_{35}\text{Br}$ البرومين $^{82}_{36}\text{Kr}$ محمى بواسطة كل من $^{82}_{34}\text{Se}$ سيلينيوم (مستقر)

$^{82}_{38}\text{Sr}$ كريببتون ٨٢ (مستقر)

ولقد لوحظ هنا شئ هام وهو أن البرومين وبقية النيوكليدات المحمية لا تنتج بانحلال دقائق بيتا الموجبة أو السالبة ولكنها إما أن تكون أحد نواتج الشظايا المنشطرة أولاً أو ربما تكونت نتيجة خروج النيوترونات السريعة من أحد الشظايا الناتجة عن إنشطار نواة اليورانيوم .

فى النهاية نود أن نقول أن ما سبق هو أهم الملاحظات حول سلاسل الانحلال الإنشطاري كما أننا نضيف إلى ذلك أن انشطار اليورانيوم أوجد عدد كبير من النيوكليدات المشعة التي لا يمكن

الحصول عليها بالإجراءات العادية لانقسام اليورانيوم والتي وجد فيها أن معدلات النيوترونات إلى البروتونات في النواتج المنشطرة لا تختلف كثيراً عن العناصر الثابتة - وهذا على العكس في الحالة الأولى التي وجد فيها أن ارتفاع معدلات النيوترونات إلى البروتونات في النواتج المنشطرة أكبر بكثير عما لو تم الحصول عليها باستعمال الدقائق المعجلة.

الفصل الخامس

الاستفادة من الطاقة النووية

الطاقة الناتجة عن الإنشطار النووي

إن فكرة استخدام الذرة كمصدر لتطوير الطاقة في القرن العشرين ترجع في الواقع إلى الاكتشاف المذهل لظاهرة النشاط الإشعاعي. ولكي نحصل على تصور أكثر وضوحاً حول الطاقة النووية علينا أن نعود إلى بدايات هذا القرن وذلك عندما أكتشف أن هناك ذرات معينة تبعث دقائق ذات شحنات كهربائية بصورة تلقائية يجعلها قادرة على التأين والتأثير في الألواح الفوتوغرافية وهذا يدل بالطبع على أنها تخرج طاقة.

في الحقيقة أن هذا الاكتشاف جعل الكثيرين يتساءلون عن مصدر هذه الطاقة مما جعل العديد من العلماء والباحثين يقومون بالعديد من التجارب والدراسات للإجابة عن هذا التساؤل حتى تم التوصل إلى إجابته أخيراً والتي تمثلت في نقطتين لقيتا الكثير من الإهتمام وذلك في عام ١٩٠٢م ولكن يتم نشرهما لأسباب غير واضحة.

وهنا يقول بيير وماري كوري حول هذا الموضوع الآتي :- [إن كل ذرة ذات مواد مشعة تعمل كمصدر ثابت للطاقة ... ولقد وجد من خلال التجارب حول تحديد أصل هذه الطاقة المشعة أنه لا بد من افتراض أن هناك مجموعتين الأولى : وهي أن كل ذرة مشعة تمتلك في داخلها طاقة كامنة ومن ثم فإن هذه الطاقة هي التي تتحرر - الثانية : وهي أن الذرة المشعة عبارة

عن جهاز ألى تعمل باستمرار على الحصول عن هذه الطاقة من البيئة المحيطة بها ثم تقوم بإخراجها مرة ثانية] - وعليه فقد كانت هذه هي أهم الآراء المطروحة فى ذلك الوقت حول الذرة والطاقة.

فى الحقيقة أن الاحتمال الثانى الذى كان يقول أن العناصر المشعة لها خاصية استخلاص الطاقة من البيئة المحيطة بها أو من الإشعاعات الخارجية [حيث أفترض أن الطاقة كانت تستعمل لطرد دقائق ألفا وبيتا] لقى رضى وقبول من بعض العلماء فى ذلك الوقت وخاصة كروكس ولورد كيلفين وذلك على الرغم من أن هذا الاحتمال كان على تناقض كبير مع القانون الثانى للديناميكا الحرارية.

ولكن هذا الاحتمال لم يستمر طويلاً وخاصة بعد ظهور اقتراح بديل له والذى كان يتمثل فى الآتى "أن الطاقة المشعة تمثل الطاقة الداخلية للذرة نفسها"، ولقد تبين بعد ذلك أن هذا الإقتراح لقى ترحيباً كبيراً من بيوكوريل ثم بعد ذلك حاز على رضى كبير من كل من رذرفورد وسودى وبالتالى لقى قبولاً عاماً على كافة المستويات العلمية.

وبناءً على هذا الإقتراح الأخير تعددت المناقشات والأبحاث خاصة حول التغيرات الإشعاعية للطاقة - ومن ثم فقد توصل رذرفورد وسودى إلى اقتراحات جديدة وهى أن جميع الذرات [وليس فقط الذرات المشعة] تمتلك كميات كبيرة من الطاقة ، وعليه فقد كتبوا فى عام ١٩٠٣م الآتى :

[أن الطاقة الكامنة فى الذرة لا بد وأن تكون هائلة من حيث الكمية وذلك فى التفاعلات النووية عنها فى التفاعلات الكيميائية العادية - ويضيف رذرفورد

وسودى فيقولان : أننا الآن نجد أن جميع العناصر المشعة لا تختلف عن العناصر الأخرى من حيث سلوكها الكيميائي والفيزيائي على السواء وبناءاً على ذلك فإنه لا يوجد سبب لافتراض أن هذا المخزون الهائل من الطاقة يمتلك فقط بواسطة العناصر المشعة ، ومن ثم فإننا نجد أن الطاقة النووية بصفة عامة متشابهة في جميع العناصر حيث أنها على درجة هائلة في كل عنصر وذلك على الرغم من عدم حدوث أى تحويلات لهذه العناصر عن طريق النشاط الإشعاعي .]

ولكن الدراسات والأبحاث حول هذا الموضوع لم تتوقف عند هذا الحد بل كانت قائمة على قدر وساق - ففي عام ١٩٠٤م قام عالم الفلك والفيزياء الرياضية الإنجليزية الشهير "جينس" بوضع تفسير جديد للطاقة المشعة والذي تبين بعد ذلك أنه كان بمثابة نقطة البداية الحقيقية و فاتحة عهد جديد في مجال الطاقة النووية وهنا يقول جينس :

لا شك أن النتائج المترتبة عن إختفاء كمية محدودة من الكتلة وأيضاً عملية النشاط الإشعاعي لهما إرتباط شديد بالطاقة الخارجة أو المتحررة، ولقد كان جينس يتصور أن الطاقة الخارجة لها إرتباط كبير بالنشاط الإشعاعي الناتج من الإفناء المتبادل للشحنات الموجبة والسالبة في الذرة، ومن ثم فقد أصبح مقبولاً بعد ذلك أن عملية الإفناء للمادة تنتج طاقة ولكن في نفس الوقت كان واضحاً أن الطاقة الإشعاعية لا تحدث بنفس الطريقة.

في الواقع أن إيضاح وتفسير كل من الطاقه الاشعاعيه والطاقه الذرية بصفه عامه لم يتم بصوره شامله إلا عن طريق معادلة اينشتين في

عام ١٩٠٥م الذي حدد العلاقة بين الكتلة والطاقة [سنتحدث عن ذلك بالتفصيل فيما بعد]، وهنا يرى اينشتين ان الطاقة المصاحبة للتغير الاشعاعي تتعادل مع الاختلاف بين كتلة النواة الأم من ناحية وكتلة النواة الابنة مضافاً اليها الدقائق المتحرر.

أن اينشتين لم يهتم في الحقيقة بالدراسة التفصيلية للطاقة الإشعاعية في النشرات والتقارير التي كتبها إلا انه بعد أن أعلن عن معادلته الشهيرة من عام ١٩٠٥م قال أن كل ما هو يتعلق بالطاقة الاشعاعية موجود في الدراسات الخاصة بالنشاط الاشعاعي، وبعد ٨ سنوات من صدور معادلة اينشتين حدث تطوراً جديداً وذلك عندما اقترح سوين الألماني في عام ١٩١٣م الآتي :

إنه على الرغم من أن معادلة اينشتين على درجة عالية من الدقة بالنسبة لتحديد الأوزان الذرية للعناصر المشعة فإننا نجد أن التأثيرات المتوقعة من ذلك صغيرة للغاية ومن ثم فإنه يصعب ملاحظة ذلك خاصة أثناء العمل مع المواد المشعة، ولكن هنا نود أن نشير إلى الحقيقة الهامة التالية: وهي إنه على الرغم من عدم القدرة على التأكد التام من العلاقة الموجودة بين الكتلة والطاقة في ذلك الوقت إلا أنه كان واضحاً أن هناك ثمة اتفاق بين العلماء حول هذا الموضوع، وفي هذا الصدد يقول ميليكان في كتابه "الإلكترون" أنه بعد فترة ليست بالطويلة على نشر معادلة اينشتين في عام ١٩٠٥م كانت المناقشات والدراسات والأبحاث قائمة بطريقة غير عادية في معامل الفيزياء خاصة حول الأجزاء المجمعدة لتكوين النواة أو الاندماج

النوى كمصدر للطاقة، ويقول ميلكان أن أهم هذه المناقشات هو ما كان يتعلق بـ "هاركينس" و "ويلسون". من الولايات المتحدة في عام ١٩١٥ الذين إقترضا [أن إفتراضهما لم يكن صحيحاً تماماً] أن جميع الذرات بنيت من الهيدروجين، ولقد علقا على ذلك من خلال المثال التالى : أنه من الأعداد المتساوية للبروتونات والنيوترونات يتم الحصول على استقرار الذرة الذي يصاحبه فقد فى الكتلة يتناسب مع كمية الطاقة الخارجة.

وعلى الرغم من الدراسات والأبحاث المكثفة التي تمت فى تلك الفترة والتي كانت لها تأثير كبير فى مجال الطاقة النووية إلا أننا نجد أن تاريخ ومستقبل البشرية توقف على الحدث والاكتشاف الهائل فى بداية الثلاثينات من هذا القرن وذلك عندما إستخدمت طرق مختلفة من أجل زيادة طاقة الدقائق التي أدت إلى الاكتشاف الهام للتفاعلات النووية المصحوب بخروج كميات كبيرة من الطاقة، وبالطبع هذه العمليات تختلف كثيراً عن ظاهرة النشاط الإشعاعي وذلك لأنه يمكن التحكم فيها كما أنها فى نفس الوقت لا تتوقف على عناصر محددة ذات عدد كتلة كبير أو صغير، ولكن التفاعلات النووية لم تخلو أيضاً من بعض المجادلات، وهنا يقول بعض العلماء أن التفاعلات النووية الناتجة عن تعجيل الدقائق أعطت أقل مما كان متوقعاً للاستعمال العملي للطاقة النووية، ويرجع السبب فى هذا النقص إلى ما أعلنه رذرفورد فى محاضراته التي ألقاها ونشرها بعد ذلك فى عام ١٩٣٧ حول تحديث كيمياء القرون الوسطى - فيقول رذرفورد :

إن الطاقة الناتجة عن تحول الذرة إلى ليثيوم بواسطة الديوترونات
وهي ٢٢,٥ مليون إلكترون فولت هي في الحقيقة ضعف الطاقة الخارجة أثناء
إنحلال أى ذرة مشعة وهذا أمر متفق عليه - ونظراً لأن عملية التحول تتم
بواسطة ديوترون ذو طاقة تقدر بحوالى ٢٠.٠٠٠ إلكترون فولت فإنه يمكننا
الحصول على طاقة كبيرة في العملية الفردية - وهذا أيضاً أمر متفق عليه.

ويضيف رذرفورد : ولكن من الناحية الأخرى فإننا نلاحظ أنه يوجد
فقط حوالى واحد ديوترون في كل 10^8 ديوترون مقذوف يكون مؤثراً أو ذو
فعالية في إخراج الطاقة الناتجة عن التحول - لهذا فإنه يمكن أن نقول أن
هناك كمية كبيرة من الطاقة تستخدم في قذف الديوترونات وهي في الواقع
أكثر من كمية الطاقة الناتجة عن التحول العنصرى - ومن ثم فإن المحصلة
النهائية للحصول على طاقة يستفاد منها بواسطة المعالجات الصناعية الناتجة
عن تحول العناصر ليست مبشرة بمستقبل باهر.

في الحقيقة أن تعليق رذرفورد على التفاعلات النووية يدل على
الإهتمام الشديد بهذا الاكتشاف الجديد والذي كان مجال للمناقشة والدراسة
والتجارب ليل نهار في هذه الفترة بالتحديد وذلك من أجل الحصول على
الطاقة بطريقة عملية ومربحة في نفس الوقت - وهنا نذكر على سبيل المثال
عالم الفيزياء "لورانس" الذي قال من خلال محاضراته التي إلقاها في عام
١٩٣٨م حول "الجديد والقديم في الذرة" بالنسبة لإستغلال الطاقة النووية
الآتية : إن عملية تحرير الطاقة من جزئيات الذرة على أساس عملى ومربح
هو في الواقع سؤال هام لكل فرد حيث أصبح العديد من العلماء والباحثين

يناقشونه الآن، ويضيف لورانس : أنه حتى ذلك الوقت (١٩٣٨م) كلنا نعرف أن المادة يمكن تحويلها إلى طاقة ، كما نعرف أيضاً أن تحطيم المادة النووية من أجل الحصول على الطاقة عمل هام للغاية ولا بد منه، وهنا أود أن أقول أن الأساس الذي بنى عليه أن الكتلة والطاقة متعادلان هو في الواقع الحجر الأساسي لتطوير النظرية الفيزيائية.

مما سبق يتضح لنا أن الطاقة كانت الشغل الشاغل للعلماء في هذه المرحلة وهذا ما سنتحدث عنه .

الإنشطار النووي كمصدر للطاقة :

قبل أوائل عام ١٩٣٩م كانت التصورات السائدة كما أشرنا من قبل هي تحويل الكتلة إلى طاقة وذلك بغرض إستعمالها بطريقة عملية ومربحة في نفس الوقت ولكن الدلائل جميعها لم تشر إلى ذلك وعليه فقد ظلت قضية الطاقة مجال بحث وتجارب العلماء والباحثين إلى أن تم التوصل أخيراً إلى إكتشاف الإنشطار النووي والذي يعد محول تاريخ البشرية في العالم الحديث، وكما أشرنا في حديثنا من قبل أنه يمكن إنشطار اليورانيوم 235 بواسطة نيوترون حراري ذو طاقة محدودة للغاية لا تزيد عن 0.03 إلكترون فولت وهذا الإنشطار يعمل على خروج طاقة حرارية تقدر بحوالي 200 مليون إلكترون فولت أي أنها أكبر بلايين المرات من الطاقة الناتجة عن طريق إختراق جسيم بالصدفة للنواة .

وهنا نود أن نشير إلى أن أهمية الإنشطار النووي لا تتوقف عند هذا الحد بل أنها في الحقيقة تتعداها إلى نقطة بالغة الأهمية وهي أن عملية

الإنشطار النووي هذه يصاحبها دائماً خروج نيوترونات حرة بالتبعية لها القدرة على إحداث إنشطار آخر لنويات اليورانيوم 235 المنشطرة أيضاً والتي هي أيضاً تنتج نيوترونات حرة أكثر في العدد عن سابقتها بحيث يمكنها بالتالي حدوث إنشطار للكتل الأصغر المنشطرة وهكذا تستمر العملية الإنشطارية بطريقة تلقائية.

وبناءً على ذلك فإن نيوترون واحد يمكن أن يبدأ في عمل سلسلة كبيرة من الإنشطارات النووية مما يضاعف من عدد النويات أو الشظايا المنشطرة بمعدل منقطع النظير - ويمكن أن نوضح ذلك في الصورة التالية :

نفترض أن كل نواة منشطرة من اليورانيوم 235 تخرج ٢ نيوترون، وكل واحد من هذين النيوترونين يقوم بإحداث إنشطار آخر مع خروج ٢ نيوترون أيضاً فهنا يوجد عدد ٤ نيوترونات متحررة - وإذا استطاعت هذه النيوترونات الأربعة إحداث إنشطار لأربعة نويات منشطرة من اليورانيوم 235 فإننا سنحصل هنا على ٨ نيوترونات جديدة - وبناءً على ذلك فإن عملية الإنشطار النووي تستمر مكونة سلسلة من الإنشطارات وخروج أعداداً مضاعفة من النيوترونات حتى لا يصبح هناك أية نويات منشطرة متبقية من الوقود النووي المستخدم.

مما سبق يتضح لنا أن عملية الإنشطار النووي تختلف كثيراً عن التفاعلات النووية العرضية - حيث أننا نجد أنه في حالات التفاعلات النووية تقوم الدققة العرضية بإحداث تحول واحد فقط للنواة، ولكن في حالة الإنشطار النووي نجد أن نيوترون واحد فقط يؤدي إلى إنشطار جميع أنوية

اليورانيوم ٢٣٥ - وهنا يرى بعض العلماء أن النيوترون الأصلي يشبه إلى حد كبير عود ثقاب (كبريت) في مادة سريعة القابلية للإشتعال ومن ثم فإن حرارة لهب الكبريت تعمل على إحتراق جزء من المادة مما ينتج عنه حرارة تحت بدورها على إحتراق الجزء الباقي حتى تستهلك المادة جميعها وعليه فتخرج الطاقة المتحررة الناتجة عن هذا الإحتراق ، ولكن الإختلاف هنا هو : أن الإحتراق ليس إلا عملية تسلسل حرارى فقط أما فى حالة الإنشطار النووى فهى عبارة عن سلسلة تستمر بواسطة النيوترونات حتى يتم إستهلاك المادة المنشطرة جميعها.

وهنا نود أن نشير إلى بعض النقاط الهامة التى يهتم بها المهندسين أكثر من الفيزيائيين وهى المتمثلة فى القوانين التالية :

١ مليون إلكترون فولت تعادل 1.6×10^{-19} أرج

وبما أن الطاقة المتحررة من كل إنشطار مفرد تعادل بالتقريب ٢٠٠ مليون إلكترون فولت، إذن فهى تساوى 3.2×10^{-11} أرج حيث أن 3.2×10^{-11} هي وات/ثانية* وعليه فإنه يتطلب حوالى 3.1×10^{10} كتلة منشطرة حتى يتم تحرير طاقة تقدر بـ "١" واحد وات فى الثانية .

*الوات : هو وحدة طاقة بمعنى أنه معدل إنتاج أو إستهلاك الطاقة .

وهو يساوى 10^7 أرج لكل ثانية .

١ كيلو وات = ١٠٠٠ وات .

قوة حصان = ٧٤٦ وات .

وحدة حرارية إنجليزية = ٠.٢٩٣ وات / ساعة .

بمعنى آخر : أن معدل الإنشطارات التي تقدر بـ $3,1 \times 10^{10}$ في الثانية تنتج واحد وات من الطاقة المستخدمة كحرارة.

أما في حالة ضرب الطاقة المتحررة لكل إنشطار \times عدد أفوجادرو [عدد أفوجادرو هو $6,02 \times 10^{23}$]

فإن الناتج هو $6,02 \times 10^{23} \times 3,1 \times 10^{10} = 1,93 \times 10^{34}$ أرج .
أو $1,93 \times 10^{12}$ وات / ثانية

أى أن الناتج النهائى هو الطاقة المتحررة عن إنشطار واحد جرام ذرى.
[ملحوظة : الجرام الذرى يحتوى على $6,02 \times 10^{23}$ ذرات فردية أو نويات فردية وهو ما يطلق عليه عدد أفوجادرو].

أما في حالة تجاهل الفروق الصغيرة في الكتلة بين كل من اليورانيوم ٢٣٥، واليورانيوم ٢٣٣ والبلوتونيوم ٢٣٩ فإنه يترتب على ذلك أن الإنشطار النهائى لواحد جرام ذرى يخرج طاقة تقدر بحوالى $8,2 \times 10^{17}$ أرج.

أو $8,2 \times 10^{10}$ وات لكل ثانية .

أو $8,2 \times 10^7$ كيلو وات لكل ثانية .

أو $2,3 \times 10^4$ كيلو وات لكل ساعة .

أو $0,96 \times 10^2$ كيلو وات لكل يوم .

وعليه فإنه يتضح لنا أن إنتاج الطاقة للجرام الواحد المنشطر من اليورانيوم ٢٣٥ أو اليورانيوم ٢٣٣ أو البلوتونيوم ٢٣٩ فى اليوم سوف يعطى:

$0,96 \times 10^2$ كيلو وات أو حوالى ١٠٠٠ كيلو وات

أى ١ ميجاوات يومياً [حيث أن ١ ميجاوات = ١٠٠٠ كيلو وات]

أما فى حالة الحصول على نفس هذه الكمية من الطاقة عن طريق
إحتراق المواد (الطرق الكيميائية) فإنها تتطلب أكثر من ٣ طن من الفحم أو
حوالى ٦٠٠ جالون من وقود البترول وذلك عن كل يوم، وهذه المقارنة تبين
القيمة الهائلة من الطاقة الناتجة عن الإنشطار النووى عنها من التفاعلات
الكيميائية.

الفصل السادس

التفاعل النووى المتسلسل والقنبلة النووية

إن التفاعل النووى المتسلسل الناتج عن إنشطار اليورانيوم بالنيوترونات لقي إهتماماً كبيراً على كافة المستويات العلمية فى العالم وأيضاً السياسية بعد ذلك. أما بالنسبة لعلماء الفيزياء فقد لقي إهتماماً شديداً فى مارس ١٩٣٩م من كل من فون هالين ، جوليوت وكوارسكى فى فرنسا، أيضاً فيرمى الأمريكى ثم سزيلارد المجرى الأصل والإنجليزى الجنسية، وبالطبع العديد من العلماء الآخرين فى كل من أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية.

ولقد كانت أهم تعليقات العلماء فى هذا المجال تتركز حول خروج الطاقة النووية الناتجة عن الإنشطار النووى وذلك بأنها تعد إنجاز عملى وإقتصادى وأيضاً حلاً لمشكلة الطاقة على المدى الطويل، [وهنا نود أن نشير إلى نقطة هامة يتخبط فيها الكثير من الكتاب والباحثين حول أى المصطلحات هو الأصح " الطاقة الذرية أم الطاقة النووية ". فى الواقع أنه نظراً لأن طاقة الإنشطار ناتجة عن انخفاض الكتلة النووية الناتجة عن إعادة تنسيق البروتونات والنيوترونات لذا فإنه من الأصح أن يطلق عليها الطاقة النووية. كما أن مصطلح الطاقة الذرية هو تعبير تاريخى قديم لم يتحرر منه البعض حتى اليوم وأنه غير دقيق]. وعلى الرغم من أن موضوع الطاقة النووية كان

موضوع الساعة في ذلك الوقت إلا أنه لقي بعض النقد والذي تمثل في خطورة إستخراج هذه النوعية من الطاقة.

ويقول بعض العلماء في ذلك الوقت أن الطاقة الناتجة عن الإنشطار تخرج في فاصل زمني قصير جداً "كما هو معروف" ، وبما أن التفاعل النووي سريع جداً ، إذن فإن عملية الإنشطار النووي المتسلسل سوف تؤدي بلا أدنى شك إلى حدوث انفجار رهيب في زمن وجيز مما يؤدي بالتبعية إلى حدوث كارثة.

وقبل أن نتطرق إلى مزيد من التفاصيل وجب علينا أن نشير إلى أول من فكر في حدوث عملية الانفجار النووي :

بالرجوع إلى عام ١٩٣٤م وجد أن عالم الفيزياء المجري الأصل "سزيلارد" الذي كان يقيم في إنجلترا في ذلك الوقت إستطاع التوصل إلى فكرة التفاعل النووي المتسلسل وذلك بإستخدام النيوترون لإنشطار عنصر البريليوم وخروج ٢ نيوترون يصحبها حرارة. في عام ١٩٣٥م قام سزيلارد بتسجيل هذا الإختراع في إنجلترا ولكن أكتشف بعد ذلك أن جزءاً من هذا الإختراع إعتبر سرياً ومن ثم خصص للحكومة الإنجليزية.

ويرجع السبب في سرية هذا الجزء إلى أن سزيلارد كان على يقين من أن التفاعل النووي المتسلسل أمر من الممكن تحقيقه ، ومن ثم إذا إستعمل بطريقة الخطأ فسوف يؤدي إلى انفجار هائل وإحداث كارثة .

مما سبق يتضح لنا أن عملية الإنشطار المتسلسل إعتبرت الأساس في فكرة بناء القنبلة النووية.

في الحقيقة أن بدايات عام ١٩٣٩م شهدت تشكك بعض العلماء في إمكانية القيام والحصول على التفاعل النووي المتسلسل ، بينما البعض الآخر كان يعتقد في إمكانية حدوثه ولكن دون حدوث انفجار أو كارثة.

بالإضافة إلى ذلك كان يعتقد بعض العلماء أنه عند إذابة ملح اليورانيوم في الماء فإن النيوترونات السريعة التي تخرج عادة من عملية الإنشطار النووي تنخفض سرعتها ومن ثم فإن معدل توالد التفاعل المتسلسل ينخفض وبالتالي فإن فرصة حدوث أى انفجار تتضاءل. إلا أن كل من "أدler" و "فون هالبان" ، ثم "بيرين" في فرنسا أضافوا إلى ما سبق شيئاً آخر - فقد قالوا أنه بالإضافة إلى إذابة ملح اليورانيوم في الماء يمكن إدخال مادة أخرى على هذا المحلول مثل "كادميوم" التي لها قوة كبيرة على إمتصاص النيوترونات البطيئة مما يؤدي في النهاية إلى حدوث تحكم في عملية التفاعلات النووية المتسلسلة. ولكن يؤخذ على هذه الطريقة أنه في حالة إزالة كمية كبيرة من النيوترونات فإن عملية حدوث التفاعل النووي المتسلسل سوف تتوقف.

في الواقع أن معظم الأفكار التي نوقشت في ذلك الوقت كانت جميعاً عبارة عن تصورات فكرية غير قائمة على التجارب العملية، وعليه فقد روعى أنه لا بد من إجراء التجارب حتى يتسنى إتخاذ قرار نهائى في هذا

الشأن، وبالفعل إجريت التجارب فى معامل عديدة وقد كان أهم هذه النتائج هي :

أنه من الممكن الحصول على التفاعل النووى المتسلسل وأيضاً من الممكن تجنب الانفجارت المدمرة وذلك عن طريق استخدام الماء أو أى مهدئ نووى آخر يحد من سرعة النيوترونات، هذا بالإضافة إلى وجود مادة ذات قطاع عرضى للإستيلاء على النيوترونات البطيئة. وعلى الرغم من هذه النتائج الهامة إلا أنه لم يعلن بصفة نهائية عن أن توالد سلسلة التفاعلات الإنشطارية قد تم الإعتراف بها من قبل جميع العلماء والمتخصصين فى قطاع المجال النووى، ولكن فى منتصف عام ١٩٤٠م كان قد تم التوصل إلى معلومات كافية من خلال التجارب التي إجريت فى تلك الفترة والتي بينت أنه من الممكن الحصول على سلسلة الإنشطار النووى وإيضاً التحكم فيها عن طريق إبطاء سرعة النيوترونات . فى نفس الوقت وجد أنه من الممكن بناء القنبلة الذرية وذلك عن طريق زيادة سرعة النيوترون المقذوف لإحداث سلسلة التفاعلات الإنشطارية وقد لاقت هذه الطريقة إهتماماً كبيراً فى جميع الأوساط العلمية والسياسية من أجل بناء القنبلة النووية .

إعطاء فكرة مبسطة حول كمية الحرارة الهائلة المنبعثة من القنبلة النووية :

علاوة على المعلومات التي أشرنا إليها فى صفحة ١٢٦ نضيف إليها

الآتي : لقد وجد أن إنشطار جميع النويات فى ١ كيلو جرام [١٠٠٠ جرام]

من المادة القابلة للإنشطار (الوقود الذرى) سوف تنتج طاقة تقدر بحوالى

٨,٢ × ١٠^{٢٠} أ.ج.

وهنا نشير إلى أنه في أى انفجار نووى وجد أن طاقة فوتونات إشعاع جاما والنيوترونات (تفقد هذه الطاقة عادة عن طريق هروب هذه الدقائق) وأيضاً الطاقة المنحلة عن نواتج الإنشطار [وهى عادة ما تتحرر خلال فترة من الوقت] لن تكون جميعاً موجودة أو متوافرة بقدر ملحوظ، ونظراً لأن الطاقة الإجمالية الناتجة عن الإنشطار النووى تقدر بحوالى ٢٠٣ مليون إلكترون فولت، فإنه نتيجة للفقد السابق الإشارة إليه يوجد فقط من هذه الطاقة حوالى ١٦٧ مليون إلكترون فولت وهى الطاقة الكينيتية للشظايا المنشطرة الموزعة على الانفجار النووى .

أى أننا نحصل فى النهاية على طاقة متفجرة بعد الفقد الذى أشرنا إليه من قبل وذلك من الوقود الذرى (اكيلو جرام) تقدر بالآتى :

$$7,6 \times 10^{12} \text{ أرج وهى تعادل } 1,6 \times 10^{12} \text{ كالورى}$$

وعند إجراء المقارنة بين الطاقة الناتجة عند التفجير الكيماوى والتفجير النووى نلاحظ الآتى :

لقد وجد أن الطاقة الناتجة عن التفجير الكيماوى لمادة تى إن تى T.N.T. تقدر بحوالى 10^9 كالورى عن كل طن [ملحوظة : مادة T.N.T. هى إختصار للمتفجر الكيماوى الشائع ٢ ، ٤ ، ٦ ثلاثى النيتروتولوين]. بينما نجد أنه فى كمية الوقود الذرى المقدرة بـ اكيلوجرام فإننا نحصل على طاقة عند حدوث عملية الانفجار تقدر بحوالى $1,6 \times 10^{12}$ كالورى. أى ان ١ كيلو جرام من الوقود النووى لها قوة تعادل ١٦ ألف طن من مادة الـ تى إن تى أو ١٦ كيلوتون [حيث أن ١٠٠٠ طن من تى إن تى تعادل ١ كيلو تون].

وبالإضافة الى ما سبق فقد لوحظ أن أحد المتطلبات الأساسية لإحداث الانفجار هو ان الطاقة النووية تتحرر في فاصل زمنى قصير للغاية وهذا ما سنقوم بالتعليق عنه الآن بالإضافة الى التسلسل الإنشطارى :

ولقد تبين لنا مما سبق ان كل عملية إنشطار مفردة يعقبتها خروج ٢ الى ٣ نيوترون ولكن وجد أنهم جميعا لا يقومون بإحداث عملية الإنشطار التالية ويرجع السبب فى ذلك الى أن بعض هذه النيوترونات تهرب دون إحداث عملية الإنشطار والبعض الآخر يتم إزالته فى التفاعلات الغير إنشطارية. وعليه فإذا افترضنا أن النواه إمتصت نيوترون مما ادى الى إنقسامها فإنه نتيجة لذلك يصبح عدد النيوترونات المتحررة " أ "، أما عدد النيوترونات المفقودة فتكون "ب" وهذا ما يحدث فى كل عملية إنشطار أى ان عدد النيوترونات الموجودة لإحداث التسلسل الإنشطارى تقدر بحوالى "أ - ب". ولكن إذا افترضنا أن عدد النيوترونات الحاضرة فى أى فترة عاجلة نتيجة العملية الإنشطارية تقدر بـ "ج" فإنه يمكننا الحصول عدد النيوترونات الناتجة عن كل جيل منشط كالتالى: ج - (أ-ب)

ونظرا لان الزيادة فى عدد النيوترونات لكل جيل تقدر بحوالى :

ج - (أ-ب) - ج أو ج - (أ-ب-١)

فانه من الممكن وضعها فى هذه الصورة المبسطة " أ - ب - ١ " وهى التى تدل على الزيادة فى عدد النيوترونات فى كل انشطار نووى. ولسهولة إستخدامها فى المعادلات النووية فقد روعى وضعها فى الصورة التالية:

$$أ - ب - ١ = " د "$$

وبالاضافة الى ماسبق اذا افترضنا ان "و" هو الوقت الذى يمر بين التفاعلات المتتالية للاجيال المنشطرة، فإننا بالتالى سنحصل على معدل زيادة عدد النيوترونات فى السلسلة الانشطارية كالاتى :

$$\text{معدل زيادة النيوترون} = \text{جـ} \times \frac{1 - \beta - \alpha}{\rho} \leftarrow (1)$$

أو $\frac{\rho \times \beta}{\rho} =$ وهذا ما يحدد معدل زيادة النيوترونات فى عملية التسلسل الانشطاري.

ويمكننا حل المعادلة (١) عن طريق الاتى :

كما اشرنا من قبل ان "جـ" هى عدد النيوترونات الحاضرة وهى فى الواقع وجدت فى وقت متاخر يقدر بـ "ع".

أما عدد النيوترونات التى ظهرت فى اوائل عملية الانشطار فيمكننا هنا تقديرها بالمقدار "جـ_١" اما عدد الاجيال المنشطرة فيمكن الحصول عليها من الاتى $\frac{ع}{و}$ ولسهولة كتابتها فاننا نرمز لها بالرمز "ن".

وبمعرفة "د" وهى الزيادة فى عدد النيوترونات فى كل انشطار ، وايضا بمعرفة "هـ" وهى عدد النويات المنشطرة فى الوقود النووى ، فانه يمكننا وضع المعادلة التالية :

$$\text{جـ} = (\text{جـ} \times \text{هـ}) \text{ن} \leftarrow (2)$$

حيث جـ_١ عدد النيوترونات الموجودة فى بداية الانشطار

د الزيادة فى عدد النيوترونات لكل جيل

ن عدد الاجيال المنشطرة

هـ عدد النويات المنشطرة من الوقود الذرى

ومن خلال المعادلة (٢) يمكننا معرفة عدد النيوترونات فى جميع الاجيال المنشطرة للوقود الذرى او متطالبات الاجيال المنشطرة من النيوترونات اللازمة لها .

ولكى نتفهم ما سبق بإيضاح أكثر فالتنا طرح المثال التالى :

بالنسبة لليورانيوم ٢٣٥ ، نفترض ان " أ " هو عدد النيوترونات المتحررة فى كل انشطار والتي يصل عددها الى ٢,٥ نيوترون، وان "ب" هى عدد النيوترونات المفقودة والتي تقدر تقريباً بحوالى $\frac{1}{4}$ نيوترون.

إذن فان "د" وهى الزيادة فى عدد النيوترونات فى كل انشطار تساوى "أ-ب" ونفترض انها اقرب الى الوحدة.

وعليه فيمكننا الحصول على عدد النيوترونات فى نهاية الانشطار من المعادلة التالية :

$$C = (A - B)^N \quad (3)$$

حيث أن أ-ب = د = ١

وبما ان ا جرام نرى (الجرام الذرى هو عبارة عن ٢٤٠ جرام) من اليورانيوم ٢٣٥ او ٢٣٣ او البلوتونيوم ٢٣٩ يحتوى على 6×10^{23} نوية او كتلة ذرية صغيرة ، لذا فان الانشطار الكامل له يتطلب عددا من

النيوترونات يساوى $(A - B)^N$

وعليه فقد وجد ان الانشطار الكامل لـ ١ كيلو جرام من المواد المنشطرة (الوقود الذرى) تتطلب حوالى $2,5 \times 10^{24}$ نيوترون. حيث تبدأ عملية الانشطار المتسلسل هذه باستخدام نيوترون واحد فقط وهو النيوترون البادى "جـ" ، وعليه فان عدد النيوترونات الكلية هى $2,5 \times 10^{24}$ وهى التى يمكن الوصول اليها بعد حوالى ٥٦ جيل منشطر، وعلينا ان نلاحظ هنا

انه فى الحالات التى يتم فيها الانفجار النووى فان الوقت اللازم لانشطار جيل من هذه السلسلة يقدر حوالى 10^{-8} ثانية أى حوالى ٠.١ ر. ميكرو ثانية (ميكرو ثانية = 10^{-6} ثانية). أى ان ٥٦ جيل منشطر تحتاج لوقت يقدر بحوالى $\frac{1}{2}$ ميكروثانية، وهذا يعنى ان نصف من مليون من الثانية تكفى لإحداث عملية توالد السلسلة الانشطارية التى تبدأ بواحد نيوترون يتسبب فى إنشطار جميع النويات الموجودة فى واحد كيلو جرام من المادة القابلة للانشطار (الوقود الذرى). وكما اشرنا من قبل الى ان الطاقة الناتجة عن انفجار واحد كيلو جرام من الوقود النووى تعادل تقريبا حوالى ١٦ كيلو تون من مادة T.N.T. هذا بالاضافة الى ان تحريرها فى زمن وجيز للغاية يؤدى الى حدوث انفجار هائل للغاية .

وعلاوة على ما تقدم نود ان تشير الى نقطة هامة وهى المتمثلة فى الاتى :
لقد وجد من خلال التجارب التى تمت فى هذا القطاع ان معظم الطاقة الناتجة عن الانشطار تولدت بطريقة اسرع من التى قمنا بحساباتها قبلا، ولقد تبين هذا عندما وجد ان عدد النيوترونات الحاضرة فى التسلسل الانشطارى (ايضا الطاقة الناتجة عن الانشطار) تزداد بمعدل $\frac{1}{2.3}$ كل ٢.٣ جيل وبناء على هذه الحقيقة تم التوصل الى معرفة عدد النيوترونات كالاتى:

$$ح = (ح_1 \times 10^{-2.3}) = (ح \times 10^{-2.3})$$

وبناء على المعادلة (٤) فقد لوحظ ان التسلسل الانشطارى يتطلب اكثر من ٥٦ جيل لإحداث الانشطار الكامل لواحد كيلو جرام من الوقود النووى . اما بالنسبة لعشرة كيلو جرام من الوقود النووى فانها تمر بسلسلة الانشطار النووى الكامل بعد ان تصل الى الجيل رقم ٥٨٠٥. وهكذا فان ال ١٠٠ كيلو جرام وقود نووى تتطلب عدد من الاجيال اقل قليلا من ٦.١ وهكذا.

ولكن بالاضافة الى النواتج السابقة فقد وجد انه تحت الاحوال المناسبة لعملية الانشطار النووى المتسلسل من الممكن الحصول على طاقة الناتجة عن الانفجار فى اقل من ميكرو ثانية وذلك بغض النظر تماما عن كمية الوقود النووى المستخدمة فى الانفجار . ولقد وجد من خلال التجارب وذلك فى جميع الحالات ان الجزء الاكبر من الطاقة المتحررة يحدث فى الاجيال الاخيرة بصفة دائمة - أى ان ٩٩,٩ % من الطاقة الناتجة عن سلسلة الانشطار النووى يتم انتاجها اثناء الـ ٤,٦ جيل الاخيرة وحوالى ٩٠ % تنتج فى الـ ٢,٣ جيل الاخيرة، وهذا ما اردنا الاشارة اليه بخصوص الطاقة الهائلة الناتجة عن الانفجار النووى .

المواد المستخدمة فى القنبلة النووية :

نظرا لانه كانت هناك افكار كثيرة حول كيفية استخدام الانشطار النووى كاساس لعمل اسلحة خاصة بالجيش لذا فقد قامت حكومة الولايات المتحدة الامريكية بتأسيس أول هيئة مستقلة ومتخصصة فى ابريل عام ١٩٤٠م وذلك مع نشر أى تقارير حول نتائج التجارب التى تقوم بها هذه الهيئة فى قطاع التسليح النووى، وذلك على الرغم من ان الدلائل جميعها كانت تشير الى بناء القنبلة النووية.

وهذا نود ان نشير الى عالم الفيزياء الامريكى " فيرمى " الذى كان يرأس مجموعة عمل فى فرقة مانهاتن التى تضم مهندسين من الجيش الامريكى والتى يعتقد انها شكلت بصفة نهائية فى عام ١٩٤٢م بغرض انتاج أول قنبلة نووية التى قاما بتصميمها آرثر هولى كومتبون و روبرت جوليوس أو بنهويمر .

وبالرجوع الى موضوع إنتاج القنبلة، فلقد كان معروفا بصفة عامة لدى الجميع ان اليورانيوم ٢٣٥ (وهو الموجود بنسبة لا تزيد عن ٠,٧٢ % او بمعدل جزء فى كل ١٣٩ جزء من ذرة اليورانيوم ٢٣٨) من الممكن ان ينشط بالنيوترون البطيء والسريع على السواء وذلك على الرغم من ان عملية الانشطار النووى فى القطاع المستعرض صغيرة جدا وذلك عند قذفها بنيوترون سريع .

وبالاضافة الى ذلك وجد ان اغزر نظير لليورانيوم الذى عدد كتلته ٢٣٨ لا ينشط بنيوترونات بطيئة ولكنه ينشط عندما يتعرض لنيوترون سريع . كما كان معروفا ايضا فى علم ١٩٤٠ م ان كل نواة يورانيوم ٢٣٥ تنشطر بنيوترون بطئ وينتج عن ذلك خروج ٢ الى ٣ نيوترون ذو طاقة عالية، وقد لوحظ هنا ان نسبة عالية من هذه النيوترونات تكون سريعة جدا وتتبع بصورة تلقائية فى المعالجة الانشطارية اما النسبة المتبقية من النيوترونات فهي قليلة جدا وتقدر فى معظم الحالات بحوالى ٠,٦٥ % وهي تخرج متأخرة عن سابقتها.

ولقد لوحظ ان النيوترونات السريعة والبطيئة لها تأثير كبير على سريان عمليات الانشطار المتسلسل .

وبالاضافة الى ما سبق فقد ظهر فى نهاية عام ١٩٤٠م واول عام ١٩٤١ بعض المعلومات التى لاقت اهتماما كبيرا من العلماء والباحثين فى مجال الطاقة النووية - فقد عرف ان نواة اليورانيوم ٢٣٨ ذات قطاع عرضى محسوس ولها طنين أو تردد معين عند اقتناصها للنيوترونات البطيئة ذات الطاقة التى تتراوح ما بين ٦ الى ٢٠٠ الكترون فولت وذلك بغرض تكوين البلوتونيوم ٢٣٩ . ونتيجة لما سبق (على الرغم من ان اليورانيوم ٢٣٨ لا يعانى انشطارا عندما يتعرض لنيوترونات بطيئة) فان اليورانيوم ٢٣٨

يقتنص بعض النيوترونات داخل الجهاز المعد لعملية الانشطار ومن ثم يتداخل مع توالد السلسلة الانشطارية لليورانيوم ٢٣٥ .

ولقد لوحظ انه من المحتمل ان النيوترونات البطيئة تحدث انشطارا في اليورانيوم ٢٣٩ (لكن هذا النظر الصناعي ٢٣٩ له فترة نصف حياة تقدر بحوالى ٢٣٥ دقيقة) الذى ينحل بخروج دقائق بيتا السالبة الى ان يتم تكوين البنتيونيم ٢٣٩، ولقد وجد ان البنتيونيم ٢٣٩ نشطا أيضا فى انحلال دقائق بيتا (تقدر فترة نصف حياة البنتيونيم ٢٣٩ بحوالى ٢,٣ يوم) حيث يتحول الى نظير صناعى ذو فترة نصف حياة طويلة وهو ما يطلق عليه البلوتونيوم ٢٣٩ الذى يمكن انشطاره بنيوترون بطئ وسريع . (هنا نود ان نشير الى حقيقة هامة وهى ان البلوتونيوم ٢٣٩ الناتج عن اليورانيوم ٢٣٨ اكتشف بواسطة " نيرنر " الأمريكى فى مايو عام ١٩٤٠) .

فى الواقع ان اليورانيوم ٢٣٨ المستخدم هنا للحصول على البلوتونيوم ٢٢٩ ينشطر بنيوترون سريع ، ولكن وجد ان هذا النيوترون السريع غير قادر على إحداث تسلسل انشطاري - وهذا ينطبق ايضا على اليورانيوم الطبيعى. ولقد وجد من خلال التجارب ايضا ان السبب الهام للعمليات الغير انشطارية الناتجة عن اقتناص اليورانيوم ٢٣٨ للنيوترونات يرجع الى الاتى :

أنه نتيجة للتصادمات الغير مرنة مع نوية اليورانيوم فان طاقة النيوترونات المنشطرة تتخفض بسرعة حتى تصل الى اقل من واحد مليون إلكترون فولت وعليه فان هذه النيوترونات لم تعد قادرة على إحداث أى انشطار لليورانيوم ٢٣٨، ولكن من الناحية الاخرى وجد ان اليورانيوم ٢٣٥ قابل للانشطار بالنيوترونات ذات الطاقات المختلفة حتى اذا انخفضت طاقة النيوترون السريع الى اقل قدر ممكن من الطاقة ولذا فان السلسلة الانشطارية

تلعب دورها دون تعقيد شديد بالنسبة لطاقة النيوترون المقذوف . وبناء على ذلك فإن اليورانيوم ٢٣٥ يستخدم فى بناء القنبلة النووية - ولكن هنا يتسائل البعض هل ان فقد النيوترونات له تأثير على إحداث عملية التسلسل الانشطاري ؟ فى الواقع انه يوجد فقد فى اعداد النيوترونات عن طريق هروبها من السطح الخارجى , ولذا فقد وجد انه لا بد من وجود كمية محددة من المواد المنشطرة (الوقود الذرى) تعتبر ضرورية اذا كان مقدرا توالى السلسلة الانشطارية واستمراريتها والتي تؤدى بالتبعية الى حدوث الانفجار النووى - وعليه فقد وجد من خلال التجارب التى اجريت فى هذا الصدد ان هذه الكمية المحددة لا بد وان تقع ما بين واحد كيلو جرام و ١٠٠ كيلو جرام من اليورانيوم النقى . لقد اوضحنا فيما سبق ان الانشطار الكامل لواحد كيلو جرام من الوقود الذرى (يورانيوم ٢٣٥) ينتج عنه كمية من الطاقة تعادل تقريبا الطاقة الناتجة عن انفجار ١٦ الف طن من مادة الـ T.N.T او ١٦ كيلو تون - وهذا يبين لنا دون ادنى شك مقدار الطاقة الهائلة الموجودة فى القنبلة النووية. ولكن لنا هنا وقفة بالنسبة للوقود النووى وهو اليورانيوم ٢٣٥، وفى الحقيقة ان كمية هذا الوقود لم يتم الحصول عليها بسهولة كما قد يتصور البعض ، وذلك لان استخلاص اليورانيوم ٢٣٥ من اليورانيوم ٢٣٨ عملية صعبة ومعقدة وايضا نادرة فى اليورانيوم ٢٣٨ حيث انها تمثل ٠,٠٧٦ % ومن ثم فقد اقيمت تجارب عديدة بغرض الحصول على كميات كبيرة منها ونذكر هنا ان بداية هذه التجارب بدأت فى صيف عام ١٩٤٠ م عندما جرى اول عملية تقصى حول استخلاص اليورانيوم ٢٣٥ من اليورانيوم ٢٣٨ والتي تمثلت فى اجراءات النشر الغازي مع سداسى فلوريد اليورانيوم حيث ثبتت انه ناجحة تماما .

وفي نفس الوقت الذي كانت تجرى فيه التجارب باهتمام بالغ لفصل اليورانيوم ٢٣٥ ، كانت الدراسات والتجارب قائمة باهتمام شديد ايضا بغرض الحصول على البلوتونيوم من اليورانيوم ٢٣٨ الغزير فى المادة المنشطرة [لقد سبق ان نوهنا الى ذلك] حيث اثبتت التجارب النهائية ان البلوتونيوم قابل للانشطار بنيوترون بطى وسريع ، وبناء على ذلك وجد انه من الممكن استخدامه كبديل لليورانيوم ٢٣٥ وذلك بغرض استعماله فى بنا القنبلة النووية، وبناء على هذه النتائج اعطيت الاولويات لانتاج البلوتونيوم بكميات كبيرة ، فى نفس الوقت كان هناك ارتباط شديد بين انتاج البلوتونيوم وعملية التحكم فى سلسلة التفاعل الانشطارى [وهذا ماستحدث عنه بالتفصيل فيما بعد].

نظام خاص بالتفاعل النووي المتسلسل

التحكم فى سلسلة الانشطار النووي:

فى الواقع ان عملية التحكم فى التفاعل النووى المتسلسل الناتجة عن النيوترون البطئ تتطلب فى المقام الاول مادة مناسبة الغرض منها هو خفض سرعة النيوترون وهذا ما يطلق عليه بالمهدئ النووى، وعليه فقد اجريت تجارب عديدة فى هذا المجال وتذكر منها التجارب الاولى التى تم اجراؤها بواسطة " فون هالبان " وزملائه الفرنسيين والتى استخدم فيها هالبان ملح اليورانيوم المذاب فى الماء العادى - وعلى الرغم من ان التفاعل النووى المتسلسل استمر فى العمل بواسطة النيوترونات البطيئة الا انه سرعان ما اتضح بعد ذلك ان الكبر النسبى للقطاع المستعرض لامتناس النيوترونات البطيئة بواسطة الهيدروجين يعمل على الغاء الاستعمال المائى كمهدئ نووى [وهذا يتم على اقل تقدير مع اليورانيوم الطبيعى الذى يحتوى على نسبة عادية من اليورانيوم ٢٣٥] . وبلاستمرار فى اجراء التجارب فى هذا المجال تم التوصل الى ان هناك أنواع أخرى من المواد تستخدم كمهدئات نووية ومنها على سبيل المثال الماء الثقيل [أكسيد الديوتيريم] والكربون اللذين يعطيان أفضل النتائج فى هذا المجال - وبالإضافة إلى ذلك وجد أن البريليوم مناسباً أيضاً كمهدئ ولكن عملية الحصول عليه نقياً بكميات كبيرة تعتبر صعبة للغاية .

ونتيجة لهذا فقد قرر الفرنسيون استخدام الماء الثقيل [أكسيد الديوتيريم] فى تجاربهم - وهنا لابد وأن نشير إلى حدث هام وهو [فى يونيو ١٩٤٠م عندما سقطت فرنسا فى يد الألمان ، فون هالبان وكوارسكى هربا إلى إنجلترا ومعهم حوالى ١٨٠ لتراً من الماء الثقيل الذى حصلوا عليه من

النيرويج ، إلا أن هذه الكمية لم تكن كافية لإحداث سلسلة التفاعل الإنشطاري ولكنها في نفس الوقت كانت كافية للحصول على المعلومات المطلوبة منها في نهاية ١٩٤٠م والتي أشارت إلى أن جهاز يورانيوم الماء الثقيل قادر على إحداث التسلسل الإنشطاري].

أما في الولايات المتحدة الأمريكية فقد كانت الصورة مختلفة عن ذلك تماما ، وذلك لأنه بناء على إقتراح فيرمي وسزيلارد (المجرى الأصل) كانت الجهود متركزة حول إستخدام الكربون في صورة جرافيت كمهدئ نووي وذلك لسهولة الحصول على إنتاجه، وفي نفس الوقت كانت هناك خطة عمل مشتركة بين العلماء الأمريكيين والكنديين وذلك بغرض إنتاج كميات كبيرة من الماء الثقيل في أسرع وقت ممكن، ولكن نظرا للنتائج الناجحة التي حققها الجرافيت كمهدئ نووي صلب (غير سائل) فقد كان من نتيجة ذلك أن لعب الماء الثقيل دورا ثانيا عند مقارنته بالجرافيت وذلك في مشروع الطاقة النووية الأمريكية أثناء فترة الحرب العالمية الثانية فقط - ولكن نظرا لأن الماء الثقيل له ميزات عديدة عند إستخدامه كمهدئ نووي لذا فقد إستعمل على نطاق واسع خاصة بعد الحرب العالمية الثانية حتى الوقت الحالي.

أما في ألمانيا فقد حدث شئ آخر والذي يعد بمثابة تطورا جديدا أثناء الحرب العالمية الثانية وذلك عندما قام العلماء الألمان برئاسة "هايزنبرج" بعمل جهاز جديد يتكون من عدد كبير من المكعبات المعدنية لليورانيوم والتي تزن حوالي ١,٥ طن وقاموا بتعليقها في خزان يحتوى على ١,٥ طن من الماء الثقيل [أكسيد الديوتيريم] مع وضع عاكس جرافيتسى، وتبعاً لتقارير هايزنبرج فقد وجد أن هذه الكمية صغيرة لإحداث التسلسل الإنشطاري وعليه فقد قرر زيادتها للحصول على التفاعل النووي المتسلسل - ولكن قبل القيام بزيادة هذه الكمية إستطاع الأمريكان إحتلال قرية هايجرلوخ التي كانت

تجرى فيها هذه التجربة فى مخزن تحت الأرض تم تشييده عن طريق قطع الصخور تحت الأرض ولقد حدث أن توقف كل شئ فى ٢٢ إبريل عام ١٩٤٥ م .

ملحوظة :

يرى بعض العلماء أنه لو لم يحدث إحتلال لقرية هايجرلوخ أو على الأقل لو إستطاع هايزنبرج تكملة مشروعه لحصل فى أسرع وقت على التفاعل النووى المتسلسل الذى كان بغيته .

والآن نتطرق إلى موضوع على درجة عالية من الأهمية وهو عامل التكاثر النووى :

كما أشرنا من قبل أنه لإستمرارية حدوث التفاعل النووى المتسلسل لابد وأن كل نيوترون ينتج عن الإنشطار النووى يكون قادرا على بداية إحداث إنشطار آخر - ومن ثم فإن الحالة الدنيا لكل نواة تمر بعملية الإنشطار لابد وأن تنتج على الأقل (فى المتوسط) نيوترون واحد يقوم بإحداث إنشطار آخر - وهذه الحالة إطلاق عليها مصطلح عامل التكاثر أو نظام عامل التكاثر . (وعامل التكاثر هو عبارة عن النسبة بين عدد النيوترونات الناتجة عن الإنشطار فى أى جيل واحد إلى عدد النيوترونات الفورية للجيل السابق له).

وهنا علينا أن نتفهم جيدا الأتى :

إذا كان عامل التكاثر الممثل بالرمز "ف" يساوى تماما (أو أكبر من) الوحدة فإنه من الممكن حدوث التفاعل النووى المتسلسل. ولكن إذا كانت (ف) أقل من الوحدة أو حتى أقل قليلا جدا منها فإن التفاعل المتسلسل لن يحدث على الإطلاق، وهنا نضرب المثال التالى :

نفترض أن جيل معين من الأجيال المنشطرة إبتدأ بـ ١٠٠ نيوترون، فإذا كان عامل التكاثر يساوى الوحدة، فإنه سيكون لدينا هنا ١٠٠ نيوترون فى بداية الجيل الثانى، ثم ١٠٠ نيوترون فى بداية الجيل الثالث وهكذا. [أى أنه بمجرد أن تبدأ عملية الإنشطار الأولى فإن سلسلة الإنشطار النووى تستمر بنفس المعدل الذى بدأت فيه] .

ولكن إذا كان عامل التكاثر النووى (ف) أكبر من الوحدة ، وليكن على سبيل المثال (١,٠٥) ، وأن عدد النيوترونات البادئة ١٠٠ نيوترون - فإننا نجد هنا أن عدد النيوترونات الناتجة فى بداية الجيل الثانى هى :

$$100 \times 1,05 = 105 \text{ نيوترون}$$

[أى أن عدد النيوترونات يزداد من جيل للذى يليه وهكذا تستمر عملية الزيادة فى عدد النيوترونات تبعا للأجيال المنشطرة] ، وعليه فإننا نخرج من ذلك بالإتى :

أن عدد النيوترونات الحاضرة فى نهاية "ن" للأجيال المنشطرة يمكن معرفته من المعادلة الآتية [وهى المعادلة رقم ٢ السابق الإشارة إليها] .

$$C_n = (C_1 \times f)^n$$

$$\text{حيث } C_1 = 100 \text{ نيوترون}$$

د = عامل التكاثر "ف" - ١ وهى الزيادة فى عدد

النيوترونات لكل جيل، أى أنها تساوى $1,05 - 1 = 0,05$ أى أن

د = ٠,٠٥ وهى الممثلة هنا فى حالتنا هذه .

[ملحوظة هامة : علينا ان نتذكر جيدا انه فى حالة القنبلة النووية

فان الوضع يختلف حيث ان عامل التكاثر "ف" لابد وان يكون > ١ نيوترون، وان الزيادة فى عدد النيوترونات لكل جيل "د" هى واحد نيوترون، وعليه فان نسبة

الزيادة فى كثافة النيوترون تكون اكبر بكثير من تلك التى موجودة فى سلسلة الانشطار المتحكم فيه] .

وبمتابعة مناقشاتنا السابقة نضيف المثال التالى : انه بعد انشطار ١٠٠ جيل فان عدد النيوترونات الحاضرة يصبح ١٤٨٠٠ نيوترون، أى اننا نخرج مما سبق بالآتى : ان نيوترونات قليلة تعمل على انتاج سلسلة إنشطارات لا متناهية - ونضيف إلى ذلك أنه لكى يتم منع سلسلة الإنشطارات المتتالية من الخروج عن دائرة التحكم فلا بد من ادخال ماص النيوترونات فى هذا الجهاز .

ومن الناحية الاخرى ، اذا كان عامل التكاثر اقل من الوحدة أى يساوى ٠,٩٥ على سبيل المثال ، فان عدد النيوترونات سينخفض من ١٠٠ نيوترون عند البداية الى ٩٥ عند بداية الجيل الثانى - وفى هذه الحالة نجد الاتى :

أن " ف - ١ " سوف تصبح ٠,٩٥ - ١

أى ان $d = - ٠,٠٥$ بمعنى اخر ان عدد النيوترونات سوف ينخفض من ١٠٠ نيوترون الى واحد نيوترون فى حوالى ٩٢ جيل، وعليه فان السلسلة الانشطارية لن تتكاثر تحت هذه الحالات . كما لاحظنا مما سبق ان عامل التكاثر هو الأساس لإحداث التفاعل النووى المتسلسل ومن ثم فقد وجد ان قيمة عامل التكاثر فى أى جهاز يتكون من اليورانيوم ومهدى نووى يعتمد على الاتجاهات النسبية التى فيها تاخذ النيوترونات جزءا من الاربع عمليات الرئيسية الآتية :

- ١ - الفقد الكامل للنيوترونات عن طريق تسربها من الجهاز الخاص بذلك .
- ٣ - الاقتناص الغير انشطارى و الموجود بصفة اساسية فى اليورانيوم ٢٣٨ والى حدما فى اليورانيوم ٢٣٥ الغير غزير .

٣- الاقتران غير انشطاري [غالبا مايشير اليه بالاقتران الطفيلي]
بواسطة المهدي النوى وايضا عن طريق المواد الغريبة المختلفة " مثل
الشوائب الموجودة في اليورانيوم و المهدي " ثم النواتج الانشطارية .

٤- اقتران النيوترونات البطيئة بواسطة اليورانيوم ٢٣٥ عند حدوث عملية
الانشطار ، بالاضافة الى اليورانيوم ٢٣٨ .

ويلاحظ انه في جميع الحالات السابقة يتم ازالة النيوترونات من
الجهاز ، لكن توجد هناك نيوترونات اخرى تتوالد في الحالة الرابعة نتيجة
العملية الانشطارية وذلك حتى تحل هذه النيوترونات الجديدة محل السابقة .
مما سبق يتبين لنا الاتي :

إذا كان عدد النيوترونات المنتج في الحالة الاخيرة (٤) يزيد عن
العدد الكلي المفقود عن طريق التسرب او الهروب وايضا بواسطة الاقتران
الانشطاري و الغير انشطاري فستكون النتيجة ان هناك زيادة في عدد
النيوترونات في كل جيل - وعليه فان عامل التكاثر سوف يزيد عن الوحدة
وبالتالي سيتم حدوث التفاعل المتسلسل .
حساب عامل التكاثر :

لقد اشرنا الى ان عامل التكاثر على درجة كبيرة من الهمية وذلك
لانه الركيزة الاساسية في احداث التفاعل النوى التسلسل - ولهذا فقد تمت
اجراءات عديدة حول حساب عامل التكاثر - ولقد تبين لنا من خلال الدراسات
حول هذا الموضوع ان افضل الاقتراحات التي قدمت في هذا المجال هو
اقتراح " فيرمي " الامريكي الذي قام بتطوير اقتراحه العالم " ويجتر " وبعض
العلماء الآخرين اثناء مشروع استعمال الطاقة النووية في الحرب وذلك في
الولايات المتحدة الامريكية السابق الاشارة اليه - وسنكتفي هنا بعرض موجز
حول اقتراح فيرمي الخاص بحساب عامل التكاثر الشهير :

لكى نتفهم حساب عامل التكاثر علينا ان نتعرف بتفصيل شبه كامل عن متوسط اللانهاية لعامل التكاثر.

ولقد تبين من خلال الحالات الاربعة للنيوترونات السابق الاشارة اليها ان الثلاثة حالات الاخيرة " ٢ ، ٣ ، ٤ " تعتمد على مكونات جهاز التفاعل النووى المتسلسل والتي هى على سبيل المثال :

طبيعة المواد الموجودة فى الجهاز و ايضا الكميات النسبية للمواد ثم ترتيبها . أما بخصوص الحالة الاولى وهى هروب النيوترونات و التى اطلق عليها بالتسرب النيوترونى فلقد تم التحكم فيها هندسيا وذلك عن طريق حجم وشكل الجهاز .ولسهولة فهم عامل التكاثر فقد وجد انه ينقسم الى جزئين :

الأول خاص بالمواد والثانى بالناحية او الشكل الهندسى

فالجزء الاول يطلق عليه متوسط عامل التكاثر اللانهاى وسنرمز له

هنا بالرمز " k_{∞} ". ويعرف متوسط عامل التكاثر اللانهاى بانه (النسبة بين عدد النيوترونات المنشطرة فى أى جيل واحد فقط الى العدد الفورى للنيوترونات فى الجيل السابق فى جهاز الحجم اللانهاى). ومن المعلومات السابقة يمكننا التوصل الى الاتى :

بما ان " k " كما اشرنا من قبل هى النسبة بين عدد النيوترونات الناتجة عن الانشطار فى أى جيل واحد فقط الى عدد النيوترونات الفورية للجيل السابق، وكما راينا ايضا ان " k_{∞} " تعنى القيمة لمتوسط عامل التكاثر اللانهاى فى جهاز كبير لا يوجد به أى فقد فى عدد النيوترونات عن طريق التسرب. ومن هاتين المعلومتين نتوصل الى وضع المعادلة التالية :

$$k = k_{\infty} \times L$$

حيث " ل " هي احتمال عدم التسرب في الجهاز الذي يعتمد اساسا على النواحي الهندسية.

وبناء على ما سبق فانه يوجد احتمال كبير في ان النيوترونات المنشطرة تظل في الجهاز ذو الحجم المحدد و الذي عن طريقه لا تستطيع النيوترونات التسرب قبل امتصاصها . ولكن هنا قد يتسائل البعض هل هناك

ثمة فارق مميز بين ف، و ف ؟

والاجابة على هذا هي ان :

ف تعني عامل التكاثر الفعال

و ف هي عامل التكاثر اللانهائي

الا ان " فيرمي " لم يتوقف عند هذا الحد ، فنظرا لاهتمامه الشديد بالحاسب الكمي لمتوسط عامل التكاثر اللانهائي فقد قام بالدراسة الكلية لنيوترونات جيل محدد، وعليه فقد افترض ان جـ هي نيوترونات سريعة (ناتجة عن الانشطار) موجودة في الجهاز المعد لذلك في بداية هذا الجيل، حيث ان هذا الجهاز يتكون من يورانيوم طبيعي ومهدئ نووي مثل الجرافيت. وعليه فقبل ان تنخفض سرعة هذه النيوترونات بشكل محسوس فان البعض القليل منها سوف يحدث انشطارا لنويات اليورانيوم ٢٣٨ وايضا نسبة قليلة من نويات اليورانيوم ٢٣٥ .

ونظرا لان هناك اكثر من نيوترون سريع يتحرر في كل عملية انشطارية، فان من نتيجة ذلك ان تزداد اعداد النيوترونات الموجودة بالجهاز. ويضيف فيرمي : واذا اخذنا في الاعتبار ان التأثير الممكن وقوعه عن طريق ضرب جـ في هـ [التي يطلق عليها عامل الانشطار السريع]، فان

النتيجة التى نحصل عليها هنا هى قيمة أكثر قليلا من الوحدة وهى عادة ما تساوى ١,٠٣ نيوترون.

وبما ان (جـ \times هـ) نيوترون " أو ١,٠٣ نيوترون " تتحرك خلال جهاز مهدئ اليورانيوم (حيث يتم الانشطار النووى) فانه سيحدث الكثير من التصادمات المرنة مع نوية المهدئ [وهو الجرافيت] تم تصادمات غير مرنة مع نويه اليورانيوم ومن ثم فانه نتيجة لذلك يحدث انخفاض كبير فى طاقة وسرعة هذه النيوترونات. ولكن بينما تمر هذه النيوترونات بمرحلة لانخفاض السريع فى الطاقة والسرعة فانها تمر خلال منطقة التردد الصوتى لليورانيوم ٢٣٨ التى يتراوح مجالها من ٦ الى ٢٠٠ الكترون فولت وهنا يوجد فى هذه الحالة فرصة لاقتناص بعض هذه النيوترونات .ويؤخذ فى الاعتبار هنا انه من الممكن عمل ذلك باستخدام عامل احتمال التسرب الترددى (ل) للنيوترونات . وعامل احتمال التسرب الترددى للنيوترونات دائما اقل من الوحدة وهو هنا عبارة عن أى نيوترون سريع سيصل الى المنطقة الحرارية دون ان يمر بمرحلة انقسام غير انشطارى.

من ذلك نخرج بان "جـ \times هـ \times ل " وهى عدد النيوترونات السريعة تتقارن مع جـ الاصلية التى دخلت الجهاز والتى مرت بسلام خلال مرحلة خفض سرعتها عن طريق المهدئ النووى .

وبالرجوع الى " ل " وهو عامل احتمال التسرب الترددى للنيوترونات فنجد أنه يعتمد بدرجة كبيرة على العلاقة النسبية للجرافيت واليورانيوم فى الجهاز وأيضا الترتيبات الهندسية لهم. فعندما تنخفض طاقة النيوترونات الى المنطقة الحرارية، فانهم (أى النيوترونات) تنتشر فى المهدئ ومن ثم فان توزيع الطاقة هنا يظل بالضرورة ثابتا حتى يتم

امتصاصهم (أى النيوترونات) نهائيا سواء كان ذلك عن طريق اليورانيوم او الجرافيت او بأى الشوائب او المواد الاخرى التى ربما قد تكون موجودة فى الجهاز .

وعليه فاذا كانت "أ₁" [تشير الى عامل الافادة الحرارية] هى جزء من النيوترونات الحرارية المأخوذة بواسطة نوية اليورانيوم (بعض الانوية يمر بعملية الانشطار) فانه يترتب على ذلك ان :

(جـ₂ × هـ₁ × ل × أ₁) تمثل عدد النيوترونات المشتركة فى العملية الانشطارية . أما بخصوص عامل الافادة الحرارية [وايضا عامل احتمال التسرب الترددى] يمكننا السيطرة عليه بواسطة المزيج المكون من الجرافيت واليورانيوم بالاضافة الى الترتيبات الهندسية للجهاز .

وفى النهاية يقول فيرمى انه اذا افترض ان "م" هى متوسط عدد النيوترونات المنتجة عن الانشطار النووى لكل نيوترون حرارى تم امتصاصه عن طريق اليورانيوم .

إذن فان "جـ₂ × هـ₁ × ل × أ₁ × م" هى عبارة عن عدد النيوترونات السريعة المتولدة كنتيجة لدخول النيوترونات السريعة الاصلية "جـ₂" المنشطرة الى الجهاز .

وحيث ان النيوترونات المنشطرة "جـ₂" للجيل الاول تنتج :
"جـ₂ × هـ₁ × ل × أ₁ × م" نيوترونات متشابهة فى الجيل الثانى . فان متوسط عامل التكاثر اللانهائى "م_∞" يمكن الحصول عليه من المعادلة التالية:

$$\text{جـ}_2 = \frac{\text{جـ}_2 \times \text{هـ}_1 \times \text{ل} \times \text{أ}_1 \times \text{م}}{\text{جـ}_2}$$

و عليه فحتى يتم التفاعل المتسلسل بطريقة ذاتية مستمرة فلا بد وان تكون ∞ ف اكبر من الوحدة وهذه نقطة هامة للغاية.

ولكى يتم التأكد من ان سلسلة التفاعلات النووية سوف تتوالد بصورة ذاتية بمجرد ان تبدأ العملية الانشطارية فلا بد وان تكون كل من "ل" و "أ" اكبر ما يمكن وذلك على الرغم من انهما دائما اصغر من الوحدة .

ومن الظروف السيئة هنا ان التغيير فى علاقة نسب اليورانيوم والمهدئ والنوى تؤدي الى زيادة احد هذه العوامل وانخفاض الاخرى.

فاذا كان الجهاز يحتوى على كمية من المهدئ النوى اكبر من اليورانيوم فان عامل احتمال التسرب الترددى "ل" سوف يزداد وعليه فسوف تكون هناك فرصة اكبر للنيوترونات لكى تصل الى المنطقة الحرارية بدون ان تمر على الاقتران الغير انشطارى الذى يتم بواسطة اليورانيوم ٢٣٨.

وعلى النقيض فان نسبة صغيرة من اليورانيوم (انوية اليورانيوم ٢٣٥) فى الجهاز تعنى ان عامل الافادة الحرارية "أ" سوف يتناقص، وبالمثل اذا كانت النسبة بين المهدئ النوى واليورانيوم منخفضة فان قيمة "ل" سوف تنخفض أما قيمة "أ" فانها ستزداد فى نفس الوقت .

وعليه فانه لا بد فى الواقع العمل على من ايجاد المكونات المحددة للجهاز الذى يعطى اقصى قيمة للناتج "ل × أ".

ومن التجارب السابقة استطاع فيرمى ان يتوصل الى الاتى :

لقد وجد فيرمى انه من الطرق المعقولة و التى يمكن عن طريقها التغلب على الصعوبات المتعلقة بالتغيرات المتضادة لكل من "ل" و "أ" هي استعمال اليورانيوم المشبع والذى هو عبارة عن اليورانيوم

المحتوى على زيادة كبيرة من النظير القابل للانشطار وهو اليورانيوم ٢٣٥ وذلك عند مقارنة باليورانيوم الطبيعي المحتوى على نسبة قليلة من اليورانيوم ٢٣٥.

فلقد وجد انه باستعمال اليورانيوم المشبع فان كل من " ل " و " أ " ستزداد نسبتها في المهدئ ، وبناء عليه فان فرص هروب الاقتران الترددي بواسطة اليورانيوم ٢٣٨ واحداث الانشطار الحراري لليورانيوم ٢٣٥ سوف تكون اكبر لكلى الاثنين " ل " و " أ " .

بالاضافة الى ذلك فانه باستخدام اليورانيوم المشبع يمكن تقليل كمية المهدئ النووي مع استمرارية الاحتفاظ بالتحكم في التفاعل النووي المتسلسل.

الاجهزة ذات الانظمة المتجانسة والغير متجانسة :

كما سبق ان ذكرنا ان قيم كل من " ل " و " أ " تعتمد اساسا على الترتيبات الهندسية لليورانيوم والمهدئ النووي معا. وأبسط هذه الترتيبات عبارة عن شكل مزيجي متناسق للجرافيت واليورانيوم سواء كان هذا الشكل في صورة معدنية او مكونات له وهذا ما يطلق عليه بالنظام المتجانس او جهاز النظام المتجانس. ومن خلال التجارب العديدة التي اجريت فى هذا المجال وجد ان الحسابات [هذه الحسابات مبنية على اساس قياس القطاعات المستعرضة للنيوترون ذو الطاقات المختلفة] اوضحت ان قيمة الحد الاقصى الممكن احتمالها لـ β "عامل التكاثر اللانهائى" فى جهاز النظام المتجانس لليورانيوم الطبيعى و الجرافيت هي ٠,٨٠ ونتيجة لذلك فان استمرارية التفاعل المتسلسل تعتبر مستحيلة . الا ان " فيرمى " الامريكى و " سزىلارد " المجرى الاصل والذى كان مقيما فى الولايات المتحدة الامريكية ويعمل مع

فيرمى فى ذلك الوقت توصلا الى نقطة هامة فى هذا المجال وهى المتعلقة
بمكونات اليورانيوم والجرافيت والتى تمثلت فى : انه من الممكن زيادة
المتوسط اللانهائى لعامل التكاثر وذلك عن طريق بناء جهاز ذو نظام غير
متجانس - حيث يتكون هذا الجهاز من شبكة مكونة من كتل كبيرة من
اليورانيوم [أو أكسيد اليورانيوم] ومثبتة فى كتلة جرافيت .
ملحوظة :

لقد توصل إلى هذه الفكرة فون هالبان بمفرده وذلك باستخدام مهندات
أخرى غير الجرافيت] .

فلقد وجد فى هذا النظام الغير المتجانس أنه نتيجة لدخول كتل
اليورانيوم فإن النيوترونات ذات الطاقات فى المنطقة الترددية والتى فيها
القطاعات المستعرضة عالية جدا يتم إقتناصها فى الطبقات الخارجية .
وبالطبع نتيجة لإمتصاص النيوترونات من الطبقة الخارجية فإن المادة
الداخلية تكون محمية من النيوترونات الرنانة - وعليه فإن النيوترونات
الرنانة الممتصة عن طريق النويات الموجودة فى كتل اليورانيوم تكون كميتها
أقل عما لو كان اليورانيوم قد تشتت فى شكل ذرات مفردة أو دقائق صغيرة
جدا، وبناء على ذلك فإن إستعمال الشبكة المكونة من كتل اليورانيوم تزيد من
قيمة "ل" وهى عامل إحتمال التسرب الرينى .

وبالإضافة إلى ذلك فقد ثبت أنه يصاحب هذه العملية خفض فى
عامل الإفادة الحرارى ولكن بنسبة ضئيلة، ولكن من خلال الحسابات النظرية
الناجمة عن الدراسات العديدة وأيضا التجارب والقياسات فقد وجد أنه قد تبين
على الأقل مع كتل ذات حجم محدد أن الزيادة فى عامل إحتمال التسرب
الرينى "ل" أكبر من الفقد فى عامل الإفادة الحرارى "أ"، وعليه فإن ناتج "
ل × أ" يزداد بإستعمال قطع كبيرة نسبيا من اليورانيوم .

نخرج من ذلك بالآتى :

أن الحد الأقصى لقيمة عامل التكاثر اللانهائى "ف" وذلك مع
مراعاة الترتيب الهندسى المثالى لليورانيوم الطبيعى فى شبكة الجرافيت قدر
بحوالى ١,٠٧ ، وعليه فإن جهاز التفاعل المتسلسل الغير متجانس هو الأمثل
لهذه المواد .

ملحق رقم (١)

غالبية معجلات الجسيمات العالية والمتوسطة الطاقة في العالم

المصدر : هيئة الطاقة الذرية الأمريكية

م	الموقع	اسم المعجل	الطاقة بالمليون	الجسيمات	عام البدء
١	معمل لورنس للأشعة ، بروكلي - كاليفورنيا الولايات المتحدة	١٨٤ بوصة سينكروسيكلوترون	٧٤٠	بروتون	١٩٤٦
٢	معهد البحوث النووية ، دوبنا الاتحاد السوفيتي	سينكروسيكلوترون	٦٨٠	بروتون	١٩٤٩
٣	جامعة كولومبيا - نيويورك	سينكروسيكلوترون	٤٠٠	بروتون	١٩٥٠
٤	جامعة ستانفورد ، بالواتو ، كاليفورنيا	مارك الثالث ، ليناك	١٢٠٠	الالكترون	١٩٥٠
٥	جامعة شيكاغو ، شيكاغو ، النيو	سينكروسيكلوترون	٤٥٠	بروتون	١٩٥١
٦	جامعة برمنجهام ، برمنجهام - إنجلترا	بروتون سيكلوترون	١٠٠٠ ٦٥٠	بروتون ديوترون	١٩٥٣
٧	معمل لورنس للأشعة ، بروكلي - كاليفورنيا	بيفاترون	٦٢٠٠	بروتون	١٩٥٤
٨	سيرن المجلس الأوربي ، جنيف - سويسرا	سيرن سينكروسيكلوترون	٦٠٠	بروتون	١٩٥٧
٩	معهد البحوث النووية ، دوبنا الاتحاد السوفيتي	بروتون سينكروفيزوترون	١٠٠٠٠	بروتون ديوترون	١٩٥٧ ١٩٧١

تابع ملحق رقم (١)

م	الموقع	أسم المعجل	الطاقة بالمليون	الجسيمات	عام البدء
١٠	مركز البحوث النووية، ساكلاي - فرنسا	ساتيرن بروتون سينكروترون	٣٠٠٠ ٢٤٠٠	بروتون ديوترون	١٩٥٨
١١	المعمل القومي ، فراسكاتي ، إيطاليا	الكترن سينكروترون	١١٠٠	الكترن	١٩٥٩
١٢	كلية العلوم أورساي ، فرنسا	معمل خطي	٢١٠٠	الكترن	١٩٥٩
١٣	سيرن (المجلس الأوروبي) جنيف - سويسرا	سيرن بروتون سينكروترون	٢٨٠٠٠	بروتون	١٩٥٩
١٤	جامعة لوند ، لوند - السويد	لوسى - الكترن سينكروترون	١٢٠٠	الكترن	١٩٦٠
١٥	معمل بروكهافن القومي، أبتن، نيويورك	سينكروترون ذو الميل المتغير	٣٣٠٠٠	بروتون	١٩٦٠
١٦	جامعة طوكيو ، طوكيو ، اليابان	الكترن سينكروترون	١٣٠٠	الكترن	١٩٦١
١٧	معهد الطبيعة موسكو ، الاتحاد السوفيتي	بروتون سينكروترون	٧٢٠٠	بروتون	١٩٦١
١٨	معهد هارفارد، كمبريدج، ماساشوستس	كمبريدج للاكترونات	٦٠٠٠ ٦٠٠٠ ٣٥٠٠	الكترن بوزيترون الكترن	١٩٦٢
١٩	جامعة برنستون ، برنستون ، نيو جيرسي	برنستون بنسلفانيا	٣٠٠٠ ٢٣٠٠	بروتون ديوترون	١٩٦٣ ١٩٧٠

تابع ملحق رقم (١)

م	الموقع	أسم المعجل	الطاقة بالمليون	الجسيمات	عام البدء
٢٠	معمل رذرفورد ، بركشاير - إنجلترا	نمرود	٧٠٠٠	بروتون	١٩٦٣
٢١	معمل أرجون القومى ، أرجون - إلينوى	سينكروترون ذو الميل صفر	١٢٧٠٠	بروتون	١٩٦٣
٢٢	المعهد الفنى تومسك ، الاتحاد السوفيتى	سيربوس الكترون سينكروترون	١٣٠٠	الالكترون	١٩٦٤
٢٣	معهد الفنون الطبيعية ، خاركوف الاتحاد السوفيتى	معجل خطى	١٨٠٠	الالكترون	١٩٦٤
٢٤	مركز السينكروترون ، هامبورج، المانيا الغربية	الالكترون سينكروترون	٧٥٠٠	الالكترون	١٩٦٤
٢٥	معمل المعجل الخطى أورساي ، فرنسا	أكو نوحلة التخزين	٤٥٠	الالكترون بوزيترون	١٩٦٥
٢٦	معمل إشعاعات الفضاء، نيويورك، نيوز - فرجينيا	سينكروسيكلوترون	٦٠٠	بروتون	١٩٦٥
٢٧	معمل الطبيعة النووية ، دار سبرى - إنجلترا	نينا الكترون سينكروترون	٥٠٠٠	الالكترون	١٩٦٦
٢٨	جامعة ستانفورد ، بالواتو - كاليفورنيا	سلاك سلاك سبير	٢٢٠٠٠ ١٥٠٠٠ ٣٠٠٠	الالكترون بوزيترون الالكترون - بوزيترون	١٩٦٦ ١٩٦٩ ١٩٧٢
٢٩	معمل الطبيعة النووية، فوفو سبرسك ، الاتحاد السوفيتى	فب الثانى	٧٥٠	الالكترون - بوزيترون	١٩٦٧

تابع ملحق رقم (١)

م	الموقع	أسم المعجل	الطاقة بالمليون	الجسيمات	عام البدء
٣٠	المعهد الفنى للأشعة ، موسكو الاتحاد السوفيتى	طراز سبر نطيقى	٩٦٠	بروتون	١٩٦٧
٣١	معهد الطبيعة ، بون ، المانيا الغربية	بون - الكترون سينكروترون	٢٣٠٠	الالكترون	١٩٦٧
٣٢	المعهد الطبيعة، يريفان ، الاتحاد السوفيتى	يريفان -الالكترون سينكروترون	٦١٠٠	الالكترون	١٩٦٧
٣٣	جامعة كورنل اثاكا - نيويورك	١٠ بليون الكترون فولت سينكروترون	١٠٠٠٠	الالكترون	١٩٦٧
٣٤	معهد طبيعة الطاقة العالية ، صرب كوف ، الاتحاد السوفيتى	سينكروترون ذو الميل المتغير	٧٦٠٠٠	بروتون	١٩٦٧
٣٥	مركز البحوث النووية ، ساكلاى فرنسا	ليناك	٦٤٠	الالكترون	١٩٦٨
٣٦	المعمل القومى ، فراستاتى ، إيطاليا	أدون ذو حلقة التخزين	١٢٠٠	الالكترون - بوزيترون	١٩٦٩
٣٧	معهد الطبيعة النووية ، نوفو سيرسك، الاتحاد السوفيتى	فب الثالث	٣٥٠٠	الالكترون	١٩٧١
٣٨	سيرن (المجلس الأوروبى) جنيف ، سويسرا	سيرن ذو حلقات التخزين المتقاطعة	٢٨٠٠٠	بروتون/أنتى بروتون	١٩٧١
٣٩	المعهد الفنى، كمبريدج ، ماسوشوستش	ليناك على الأداء	٤٠٠	الالكترون	١٩٧١

تابع ملحق رقم (١)

م	الموقع	أسم المعجل	الطاقة بالمليون	الجسيمات	عام البدء
٤٠	معهد الطبيعة النووية، نوفو سبرسك - الاتحاد السوفيتي	قبة الثاني مكرر	٧٠٠	الكترين/ بوزيترون	١٩٧١
٤١	معمل المعجل القومي ، باتافيا - الينوى	٢٠٠ بليون الكترين فولت سينكروترون	٢٠٠٠٠٠	بروتون	١٩٧٢
٤٢	المعمل العلمي، لوس الاموس ، نيومكسيكو	لامبف	٨٠٠	بروتون	١٩٧٢
٤٣	معهد الطبيعة النووية نوفو سبرسك الاتحاد السوفيتي	قبة الرابع قاب	١٠٠٠٠ ٢٣٥٠	الكترين - بوزيترون بروتون - أنتي بروتون	١٩٧٢
٤٤	تريومف ، فانكوفر ، كندا	تريومف	٥٠٠	أيون هيدروجين	١٩٧٣
٤٥	معهد البحوث النووية، فليجن ، سويسرا	سيكلوترون ذو الحلقة منتظمة النبضة	٥٨٥	بروتون	١٩٧٣
٤٦	جامعة ستانفورد بالواتو - كاليفورنيا	مارك الثالث ، ليناك ذو الأداء الفائق	٢٠٠٠	الكترين	١٩٧٣
٤٧	ديزي ، هامبرج ، ألمانيا الغربية	دوريس ذو حلقة التخزين	٣٥٠٠	الكترين - بوزيترون	١٩٧٤
٤٨	معهد طبيعة الطاقة العالية ، تسوكوبا ، اليابان	سينكروترون	٨٠٠٠	بروتون	١٩٧٤
٤٩	سيران (المجلس الأوروبي) جنيف سويسرا	٣٠٠ بليون الكترين فولت بروتون سينكروترون	٣٠٠٠٠٠	بروتون	١٩٧٥

ملحق رقم (٢)
الترتيب الأبجدي للعناصر

العدد الذري	الرمز	العنصر	العدد الذري	الرمز	العنصر
٦٣	Eu	يوروبيوم .	٨٩	Ac	اكتينيوم .
١٠٠	Fm	فيرميوم .	١٣	Al	ألومنيوم .
٩	F	فلورين .	٩٥	Am	أميريسيوم .
٨٧	Fr	فرانسيوم	٥١	Sb	أنتيموني .
٦٤	Gd	جادولينيوم .	١٨	A	أرجون .
٣١	Ga	جاليوم .	٣٣	As	زرنيخ .
٣٢	Ge	جيرمانيوم .	٨٥	At	أستاتين .
٧٩	Au	ذهب .	٥٦	Ba	باريوم .
٧٢	Hf	هافنيوم .	٩٧	Bk	بيركليوم .
٦٧	Ho	هولميوم .	٤	Be	بيريليوم .
١	H	هيدروجين .	٨٣	Bi	بيسمت .
٤٩	In	إنديوم .	٥	B	بورون .
٥٣	I	إيودين .	٣٥	Br	برومين .
٧٧	Ir	إيريديوم .	٤٨	Cd	كاديوم .
٢٦	Fe	حديد .	٢٠	Ca	كالسيوم .
٢	He	هيليوم .	٩٨	Cf	كاليفورنيوم .
٣٦	Kr	كريبتون .	٦	C	كربون .
١٠٤	Ku	خورتشاتوريوم .	٥٨	Ce	سيريوم .
٥٧	La	لانثانوم .	٥٥	Cs	سيزيوم .

تابع ملحق رقم (٢)

العدد الذري	الرمز	العنصر	العدد الذري	الرمز	العنصر
١٠٣	Lw	لورينسيوم	١٧	Ci	كلورين .
٨٢	Pb	رصاص	٢٤	Cr	كروميوم .
٣	Li	ليثيوم	٢٧	Co	كوبلت .
٧١	Lu	ليوثيوم	٢٩	Cu	نحاس .
١٢	Mg	مغنيسيوم	٩٦	Cm	سيورم .
٢٥	Mn	منجنيز	٦٦	Dy	ديسروسيوم .
١٠١	Md	مينديليفيم	٩٩	Es	إيستينيوم .
٨٠	Hg	ميرسيوري	٦٨	Er	إربيوم .
٦٢	Sm	سماريوم	٤٢	Mo	موليبدينوم .
٢١	Sc	سكانديوم	٦٠	Nd	نيوديميوم .
٣٤	Se	سيلينيوم	١٠	Ne	نيون .
١٤	Si	سيليكون	٩٣	Np	نپتونيوم .
٤٧	Ag	فضة	٢٨	Ni	نيكل .
١١	Na	صوديوم	٤١	Nb	نيوبيوم .
٣٨	Sr	سترونشيوم	٧	N	نيتروجين .
١٦	S	كبريت	١٠٢	No	نوبليوم .
٧٣	Ta	تانتالم	٧٦	Os	أوسميوم .
٤٣	Tc	تكنيتيوم	٨	O	أكسجين .
٥٢	TE	تيلوريوم	٤٦	Pd	بلاديوم .

تابع ملحق رقم (٢)

[illegible]

المراجع

- 1 - Fisher.J.C., Energy Crises in perspective, John Wiley and Sons, New york, 1974
- 2 - Wilson, Corroll (director), Man's Impact on the Global Enviroment, M.I.T. Press, Cambridge , Mass., 1970 .
- 3 - Bennet, D,J, the Elements of Nuclear power , Longmans , London , 1972.
- 4 - Glasstone, S., Source Book on Atomic Energy, D. Van Nostrand Co , Inc , New Youk, 1958 .
- 5 - Heckman ,s H . H . and P.W . Starring , Nuclear Physics and the fundamental particles, Holt Rinehart and Winston . Inc , New York , 1963.
- 6 - Kaplan, I , Nuclear physics , Addison Wesley publishing Co. Inc ., Reading mass , 1655.
- 7 - Serge , E , Nuclei and particles, W . A Benjamin Inc . New York , 1963 .
- 8 - Soodack , H , (Ed .,) Reactor Handbook , Vol. III a (physics), Wiley Interscience, New York. 1962 .
- 9 - Salmon , A , the nuclear reactor, Longman , London ,1964
- 10 - Glosstons, S, and A , Sesonsk Nuclear . Reactor Engineering , Van Nostrand Reinhold . Co. Inc , New York , 1967.

- 11 - Man & Atom , building a new world through nuclear technology , by : Gleen T . seaborg & William R . Corliss 1971
- 12 - Beyer, R . T . (Ed .) Foundatans of nuclear physics, Dover Publications, inc., 1949,
- 13 -Boors, H . A ., and L . Motz (Eds.) the World of the Atom, Vol. II, Basic Books , Inc ., 1966 , chapter 91, Fission .
- 14 - B .G .Harvey, Introduction to nuclear physics and Chemistry , prentice - Hall , Inc ., 1962
- 15 - Walton, G.N., nuclear fission , quarterly Reviews (Chem . Soc . london)71 (1961)
- 16 - Henahan , J., New Scientist , 1973
- 17 - Hubbert , M . K ., Resources and Man , National Academy of Sciences, Freeman, San Francisco, 1969.
- 18 - Munk , W .H ., and G .J .F . Mac Donald, the Rotation of the eartyh , a geeophysical discussion , Cambridge university Press, cambridge , 1960 .
- 19 - Oliver, J .W ., A History of American Technology , Ronald Press, New york , 1956.
- 20 - White, D.E ., Geothermal Energy , U .S . Geological Survey Circ ., 1965 .
- 21 - Hydroelectric Engineering Practice , Vol . II , J . Guthrie - Brown, Blackie , London , 1970.
- 22 - The coming age of Solar Energy by : Daniel S . Halacy . 1973

صدر للمؤلف

- الانشطار : التطور التاريخي للانشطار اثنووي.
- لماذا تفوقت اسرائيل على الترب نوويا ؟
- البرنامج النووي الإيراني:
- الكتاب الأول : هل ستصبح ايران دولة نووية تخشاها الدول المجاورة لها؟ ٤/١
- الكتاب الثاني: رعب داخل دول الخليج واسرائيل من بناء القنبلة النووية الشيعية. ٤/٢
- الكتاب الثالث: بداية التعاون الخليجي العلني مع دول الغرب واسرائيل لوقف بناء القنبلة الشيعية . ٤/٣
- الكتاب الرابع:المراحل التمهيديّة للمواجهة الكارثية بين الغرب ودول الخليج من جهة وإيران من جهة أخرى. ٤/٤
- ظاهرة الاحتكار في الأسواق المصرية (دراسة نقدية).
- تجاوب مصري ضئيف رغم الضغوط الأمريكية والأوروبية لتحرير سياسة سعر الصرف خلال الفترة من ٢٠٠٠ الى عام ٢٠٠٥ (دراسة نقدية).
- أزمة الإعلام التعاوني في العالم العربي . (دراسة نقدية) .

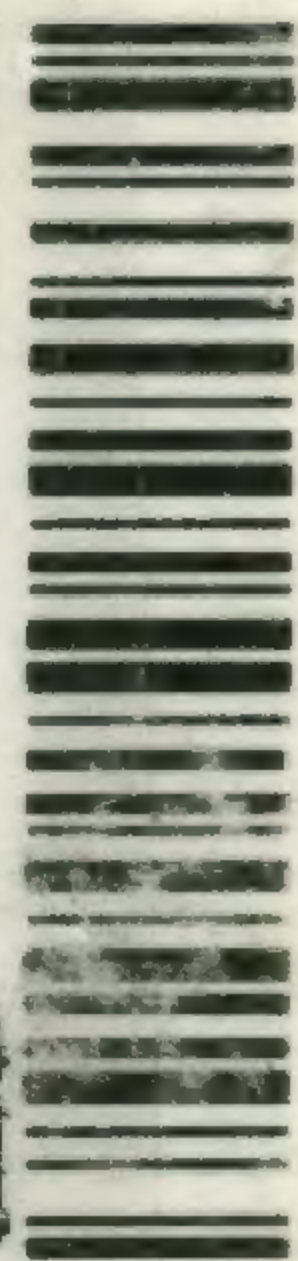
- قضايا ديموجرافية في كل من مصر وإسرائيل .
(دراسة نقدية) باللغة الانجليزية.
 - سلسلة قضايا عربية استراتيجية مثيرة للجدل:
مايو ٢٠٠٥ ، يوليو ٢٠٠٥ ، أغسطس ٢٠٠٥
 - التاريخ القديم لشمال أفريقيا (ليبيا، تونس، الجزائر، المغرب).
الكتاب الأول: بداية من السكان الأصليين ثم الفينيقيين
وإمبراطورية كرتاج. (بالغة الإنجليزية)
الكتاب الثاني: النفوذ الإغريقي والروماني والبيزنطي.
(بالغة إنجليزية)
 - قضايا سورية بالغة التعقيد:
(الكتاب الأول): محاسبة سوريا.
 - كيف تواجه النرويج تفاقم المشكلة الإسلامية على أراضيها.
 - الصراع البريطاني الأرجنتيني حول جزر الفولكلاند.
الكتاب الأول: بداية الأزمة (باللغة الإنجليزية).
 - موسوعة: رجال لهم تاريخ في المنطقة العربية وإسرائيل.
- حرف (أ) .

The Fission

Historical development of Nuclear fission

**By
Hussein Aly**

2
Bibliotheca Alexandrina



0594901